

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

佳作

080216

咖啡濃度的密碼

學校名稱：新竹縣竹北市東興國民小學

作者： 小六 吳承穎 小六 歐柏汎 小六 陳韋哲 小六 陳定睿 小六 邱繹帆	指導老師： 李永欽 戴宇君
---	-----------------------------

關鍵詞：咖啡、濃度、光敏電阻

摘要

想藉科展來自製方便準確的濃度咖啡機。

市售即溶咖啡粉經本研究顯示：(1) 咖啡濃度越高測紙殘留色越深。濃度 >6.542% 達飽和。(2) 咖啡溶水呈弱酸，pH 與咖啡濃度呈負相關。廠建議濃度 1.32% 其 pH 為 4.94。pH < 4.57 時不易判別濃度為不全面的濃度測法。(3) 電導度與咖啡濃度呈正相關。建議濃度 1.32% 其電導度為 110mho/cm。電導度在中高水溫時不穩定且無法判斷飽和為不優濃度測法。(4) TDS 與咖啡濃度呈正相關。建議濃度 1.32% 其 TDS 為 600 PPM 為可行濃度測法。(5) 光敏電阻反應電壓與咖啡濃度呈負相關。建議濃度 1.32% 其反應電壓為 0.32V 為可行濃度測法。(6) TDS 與水溫呈正相關、光敏電阻反應電壓與水溫呈負相關。(7) 運用光敏電阻反應電壓來 自製咖啡濃度控制器 是可行，準確率約為 82~97%。

壹、研究動機

每天早上爸爸都會泡咖啡，看著他拿起雀巢即溶咖啡的罐子，舀出一匙即溶咖啡粉，接著加水攪拌。這時我注意到罐子上的「原廠建議食用濃度」是 1.32%。這代表一杯一百公克的水裡得加入約 1.34g 的即溶咖啡粉，但是爸爸舀的這匙咖啡粉明顯已經超過 1.34 公克，久了會造成不必要的浪費，加上泡的濃度的不固定，即使使用在高級的咖啡粉，總難以品嚐到最佳的口感。近些日子爸爸進而流行喝起「浸泡式茶包咖啡」，濃度就更難控制了。因此，我們想藉由這次的科展來研究、自製一個既方便又準確的濃度咖啡機。可是我們又有更多的疑問，有甚麼測量方式可以最精確的泡出想要的濃度？是 pH 計嗎？電導度計嗎？還是其他的儀器……又要以甚麼型態來沖泡？咖啡包、就連咖啡機的設計圖也是個惱人的問題。為了解心中的疑問，於是與幾位同學在老師的指導下，作了以下有趣的研究。

貳、研究目的

探究咖啡在不同的濃度及溫度下，對 pH、電導度、水質計的影響與變化。依據這些數據，可以提供資訊來設定機器程式，創造出一個咖啡濃度計，讓我們往後想喝咖啡時，能自動測量一定的濃度並提出咖啡包同時發聲以提醒人來拿取。

所以有了以下研究目的：

- 一、研究咖啡水溶液的色紙分析法與濃度的關係。
- 二、研究咖啡水溶液的酸鹼 pH 值與濃度的關係。
- 三、研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。
- 四、研究咖啡水溶液的總溶解固體 TDS 值與濃度的關係。
- 五、研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。
- 六、研究咖啡水溶液的溫度與 TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。
- 七、研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校 STEAM 課程)

我們的研究架構，如下(圖) 2.1 所示

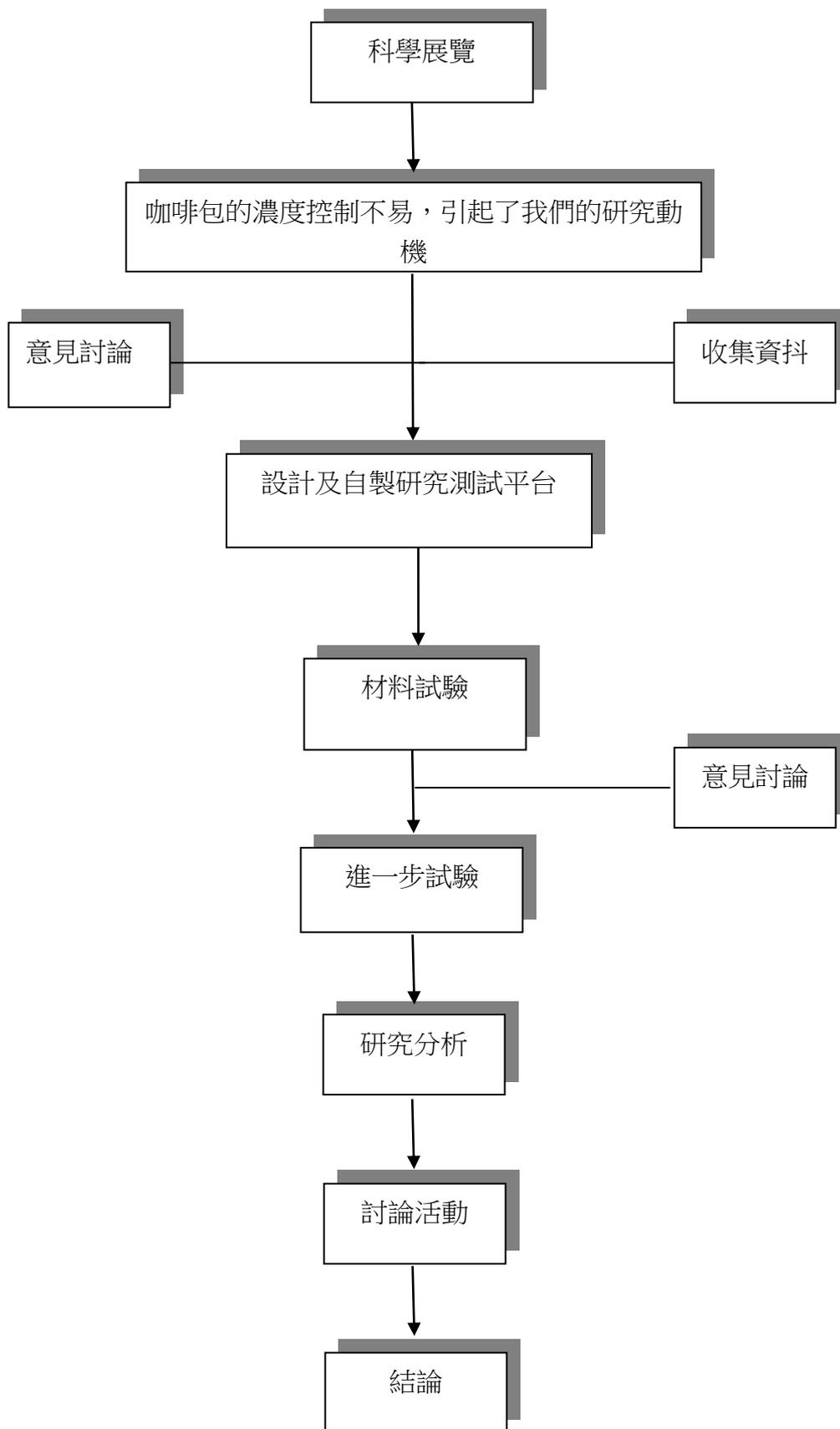


圖 2.1 研究流程架構

參、文獻探討

以「咖啡」、「濃度」、「測定法」為關鍵字，蒐尋較為相關的文獻僅四篇，而單以咖啡濃度為研究主軸幾乎沒有。經討論後確立研究方向，並與我們實際研究比較，得知我們**率先**利用**光敏電阻反應電壓值**達成**自製咖啡濃度控制器**的可行性應用。

表 3.1 近年咖啡相關作品

來源	中華民國第 56 屆中小學科學展覽會	中華民國第 61 屆中小學科學展覽會	中華民國第 55 屆中小學科學展覽會	中華民國第 62 屆中小學科學展覽會	本研究
主題	咖啡大戰，『原』力覺醒~探討咖啡中的 綠原酸	「啡」常手段抗 UV — 咖啡渣 粗萃物之 抗紫外線 效果研究	等一杯想要的咖啡~ 咖啡發酵 ，健康美味加分	咖啡廢棄物再利用- 咖啡果皮 之研究	咖啡濃度的密碼
研究目的	探討不同的萃取方式、不同濃度的溶劑、不同的反應時間及不同烘焙程度的咖啡豆對 綠原酸 萃取量的影響。	利用管柱層析法，咖啡渣為原料，以不同極性有機溶劑、不同比例沖提，分離出最佳 抗紫外線 效果化合物。	探討咖啡液萃取方式，其 DPPH 自由基 清除能力、碘還原力、綠原酸及咖啡因含量。	咖啡果農採集咖啡果實後，製作生豆過程會去除咖啡果皮，積極設法將家鄉社區產生的大量農業廢棄物—咖啡果皮再利用，使其具有經濟價值；並研究其 抗氧化力 。	探究 咖啡 在不同的 濃度 ，對 pH 、 電導度 、 水質計 、 光敏電阻反應電壓值 的影響與變化。依據這些數據，可以提供資訊來設定機器程式，創造出一個 咖啡濃度計 ，讓我們往後想喝咖啡時，能自動測量一定的濃度並提出咖啡包同時發聲以提醒人來拿取。
研究方法	透過操縱萃取方式、溶劑、不同乙醇濃度及反應時間等變因，以實驗證明不同烘焙程度的咖啡豆的 綠原酸 是否有差異？接續又進行 綠原酸 的 抗氧化 測定，以及探討 綠原酸 在日常生活中的應用。	咖啡渣 為原料，經管柱層析法分離咖啡渣萃物，丙酮、丙酮：乙醇=6：4、丙酮：乙醇=4：6、乙醇四種比例依序沖提，共分得四個區段粗萃物，再以 分光光譜儀 分析 抗紫外線 能力。	比較同種與不同種咖啡豆烘焙程度，其 DPPH 自由基 清除能力、 碘還原力 、 綠原酸 及 咖啡因 含量。	探討不同溫度、其不同沖泡時間、烘乾果皮方法、烘乾後咖啡果皮放置天數，對 抗氧化力 的影響。	(1)探討咖啡水溶液的 色紙分析法 、 酸鹼 pH 值 、 電導度值 、 總溶解固體 TDS 值 、 光敏電阻反應電壓值 與濃度的關係。 (2) 利用光敏電阻反應電壓值 達成 自製咖啡濃度控制器 的應用。

名詞解釋

一、咖啡 (coffee) :【九】

指經過烘焙過程的咖啡豆 (咖啡屬植物的種子) 所製作沖泡的飲料。咖啡是人類社會流行範圍最為廣泛的飲料之一，也是重要經濟作物。咖啡樹原產於非洲亞熱帶地區，以及亞洲南部的一些島嶼。那些咖啡樹從非洲出口至世界各國，現時那些咖啡樹種植遍布超過 70 個國家，主要在美洲、東南亞、印度等赤道地區。咖啡普遍分為兩種：備受推崇的小果咖啡 (阿拉比卡) 及顆粒較粗和酸味較低而苦味較濃的中果咖啡 (羅布斯塔)。咖啡中咖啡因對人體有刺激的作用，人們在學習、閱讀和思考等腦力活動時經常用來提神。大部分的研究建議，適度飲用咖啡是有益的，甚或有利於健康的成年人。



二、重量 (質量) 百分濃度 (質量分數, m/m) :【十】

重量 (質量) 百分濃度最常用。指每 100 克的溶液中所含溶質克數。質量百分濃度度 = (溶質質量 (g) / 溶液質量 (g)) × 100% = 溶質質量 (g) / (溶質質量 (g) + 溶劑質量 (g)) × 100%

三、pH 值 :【十一】

是指氫離子濃度指數，也就是一般所說的「酸鹼值」是溶液中氫離子活度的一種標度，也就是溶液酸鹼程度的衡量標準，通常水溫在 25°C 左右的情況，pH 小於 7 的時候溶液呈酸性，pH 大於 7 的時候溶液呈鹼性，所以當 pH 等於 7 的時候，我們稱之為中性。

四、電導度 (Electrical conductivity, EC) :【十二】

表示水傳導電流能力，導電度與水中離子總濃度、移動性、價數、相對濃度及水溫等有關。通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可電離，因此導電度也可表示水中總溶解固體的多寡。導電度太高對灌溉有不良的影響，因此導電度為灌溉水質之重要指標項目之一。導電度之量測乃以電流

通過長 1 cm、截面積 1 cm² 之液柱時測得電阻之倒數，因此其單位多以 mho/cm 表示。

五、總溶解固體 (Total dissolved solids , TDS) :【十三】

在水中溶解的固體物質總量 (包括溶解性碳酸氫離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉與鉀等；揮發及非揮發性固體)，可作為水質檢測依據。其濃度會影響飲用水之可口度。測量單位為毫克/升 (mg/L) 或 (PPM)。

六、光敏電阻 (Photoresistor) :【十四】

又稱光電阻、光導體、光導管，是利用光電導效應的一種特殊的電阻，它的電阻和入射光的強弱有直接關係。光強度增加，則電阻減小，反應電壓會增加；光強度減小，則電阻增大，反應電壓會減小。



肆、研究設備及器材

一、研究設備：

表 4.1 研究設備

編號	設備名稱	數量	單位	備註
1	酸鹼度計 (pH 計) (EZDO , PH5011A , pH 值精度 0.01)	1	台	圖 4.1
2	電導度計 (EZDO , PH5011A , 精度 10us / cm)	1	台	圖 4.1
3	數位 TDS 水質檢測計 (總溶解固體測計) (SEATOOLS , TDS-3 , 精度 2%PPM)	1	台	圖 4.1
4	光照度 (LUTRON LM-8000A) -4 合 1	1	台	圖 4.1
5	數位電表 (Pro' sKit , MT-1280)	1	台	圖 4.1
6	精密秤 (i2000 , 500g , 精度 0.01g)	1	台	圖 4.1
7	游標尺 (Mitutoyo ; 精密度 0.02mm)	1	支	圖 4.1
8	電源供應器 (DC 0-12V)	1	台	圖 4.1
9	數位溫度計 (TP-101 , -50~+300 度 C , 精度 0.1 度 C)	1	支	圖 4.1
10	美工刀	1	支	圖 4.1

11	剪刀	1	組	圖 4.1
12	燒杯	1	支	圖 4.1
13	試管	1	支	圖 4.1
14	卷尺	1	組	圖 4.1
12	直尺	1	組	圖 4.1
15	熱熔槍	1	盒	圖 4.1
16	Webduino 模組、感測晶片及線路	2	組	圖 4.1
17	發光二極體 LED (透紅、透白)	4	顆	圖 4.1
18	智高積木組	1	組	圖 4.1
19	筆記型電腦	1	台	圖 4.1
20	數位照相機	1	台	



圖 4.1 研究設備

二、研究材料：

表 4.2 研究材料

編號	材料名稱	數量	單位	備註
1	NESCAFE 雀巢經典醇品咖啡 (200g)	2	瓶	圖 4.2



圖 4.2 NESCAFE 雀巢經典醇品咖啡

圖 4.3 gold kili 金麒麟 袋裝研磨黑咖啡

(200g)

伍、研究過程與方法

【材料分析】比較即溶咖啡粉與研磨咖啡粉之差異

- (1) 利用近照比對雀巢經典醇品咖啡萃取粉、金麒麟研磨咖啡粉的細粒大小。
- (2) 取 0.5g 萃取粉及研磨咖啡粉，分別加入 50g 的飲用水，使萃取粉溶解、研磨咖啡粉釋出濃度，以比對顏色及透明度，並記錄。

【實驗一】研究咖啡水溶液的色紙分析法與濃度的關係。

- (1) 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在 100g 室溫飲用水中。
- (2) 將測試用白試紙放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中（0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%）並靜置 10 秒後取出。
- (3) 分別比較取出白紙上殘留的不同濃度的咖啡色濃度，並記錄。

【實驗二】研究咖啡水溶液的酸鹼 pH 值與濃度的關係。

- (1) 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在 100g 室溫飲用水中。
- (2) 將酸鹼 pH 計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中（0.1996、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%），穩定後讀取酸鹼 pH 值，並記錄。
- (3) 比較酸鹼 pH 值與濃度的關係。

【實驗三】研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。

- (1) 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在 100g 室溫飲用水中。

- (2) 將電導度計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中（0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%），穩定後讀取電導度值，並記錄。
- (3) 比較電導度值與濃度的關係。

【實驗四】 研究咖啡水溶液的總溶解固體 TDS 值與濃度的關係。

- (1) 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在 100g 室溫飲用水中。
- (2) 將水質檢測 TDS 計，放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中（0.1996、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%），穩定後讀取 TDS 值，並記錄。
- (3) 比較 TDS 值與濃度的關係。

【實驗五】 研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

- (1) 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在 100g 室溫飲用水中。
- (2) 將自行設計及架設的光敏電阻測試棒（含發光二極體 LED）及 Webduino 控制晶片組，放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中（0.1996、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%）。
- (3) 變距光敏電阻(第一代光感測棒)：改變光敏電阻與發光二極體 LED 之間間距（0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10cm），穩定後讀取光敏電阻反應電壓值。
- (4) 由(3)結果取最易反應出電壓值的光敏電阻與 LED 間間距（判定為 0.5cm），作為以下固定測棒的光與接收間距(定距光敏電阻)。
- (5) 定距光敏電阻(第二代光感測棒)：固定光敏電阻與發光二極體 LED 之間的最佳間距為 0.5cm。取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 3g，分別溶解在 10、20、30、40、50、100、150、200、240、300、500、700、1000g 室溫飲用水中。將定距光敏電阻測棒分別放入不同濃度咖啡中，穩定後讀取光敏電阻反應電壓值。
- (6) 比較光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

【實驗六】 研究咖啡水溶液的溫度與 TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。

- (1) 依「原廠建議食用濃度」1.32%前後濃度規畫，濃度分別取 0.5、1.5g 雀巢經典醇品咖啡萃取粉，溶解在 50g 飲用水中。(濃度約 0.99、2.913%)
- (2) 利用微波爐加熱，取得低溫、中溫、高溫的咖啡水溶液。
- (3) 分別利用 TDS 計、定距光敏電阻測棒，測試不同濃度及溫度的咖啡水溶液，並記錄。
- (4) 比較 TDS 計、定距光敏電阻測棒與溫度的關係。

【實驗七】 研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校 STEAM 課程)

- (1) 藉由我們學校 STEAM 課程知識，利用定距光敏電阻測棒、Webduino 控制晶片組，設計及自製咖啡濃度控制器。
- (2) 探討咖啡濃度控制器的可行性。

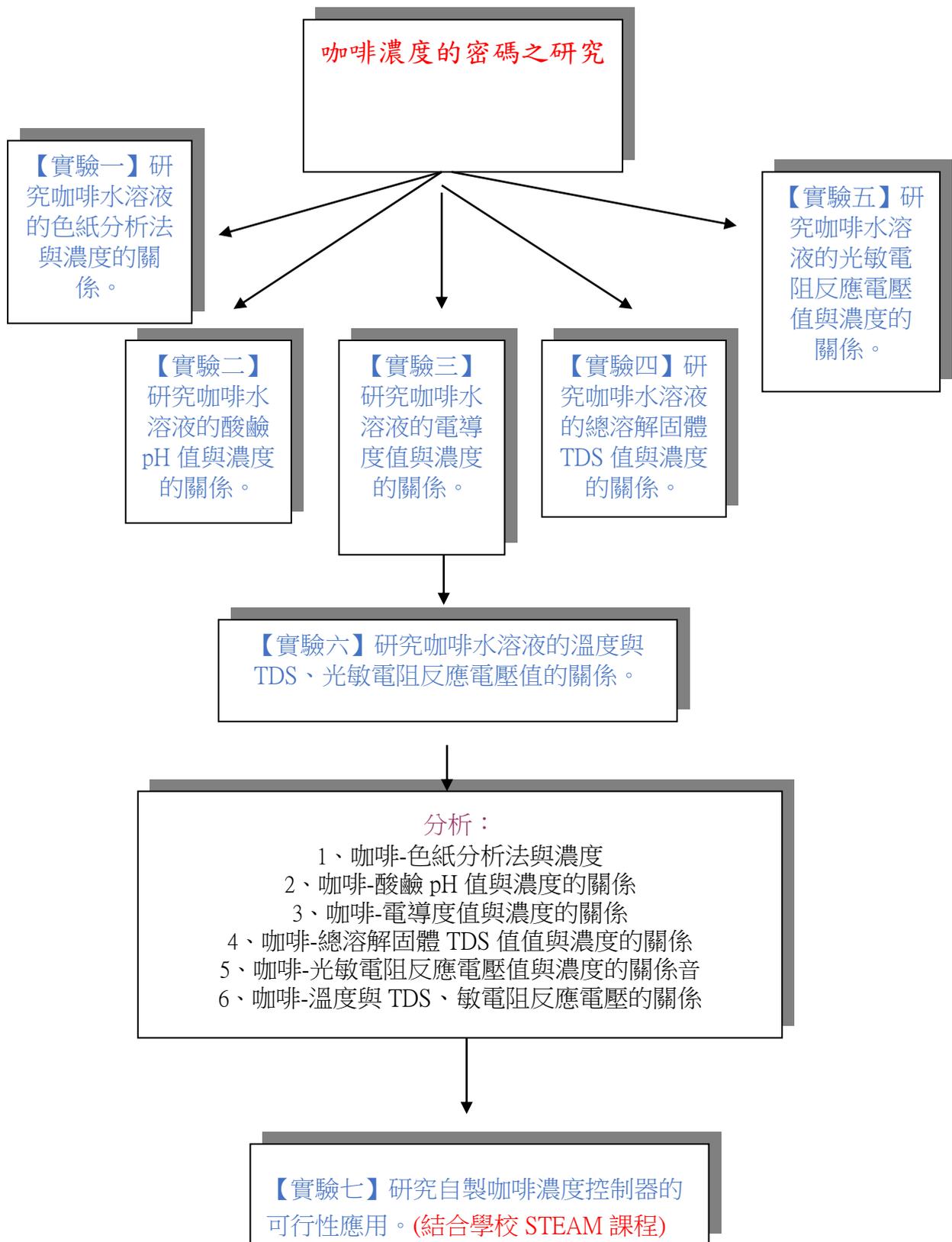


圖 5.1 研究流程



圖 5.2 咖啡濃度調配情形

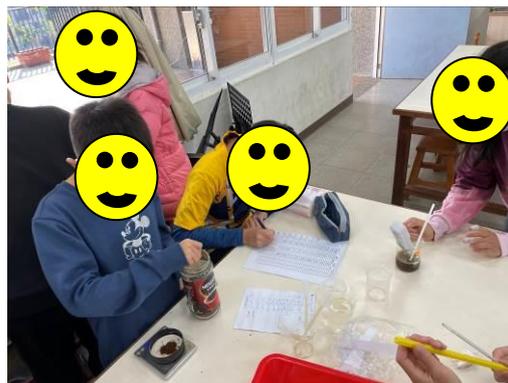


圖 5.3 酸鹼 pH 計量測情形



圖 5.4 數位溫度計量測情形

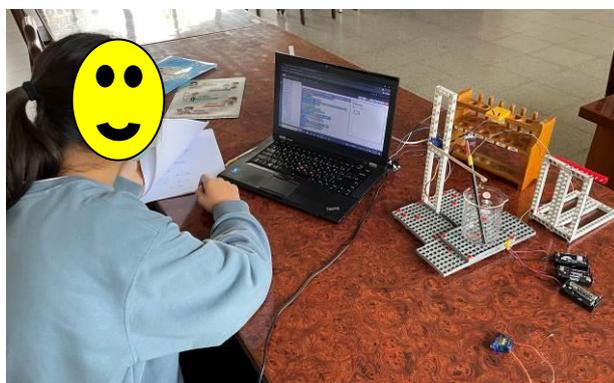


圖 5.5 Webduino、光敏電阻硬體架設及程式編寫



圖 5.6 小組討論情形



圖 5.7 說明書文字電腦書打情形

陸、研究結果

【實驗二】研究咖啡水溶液的酸鹼 pH 值與濃度的關係。

pH	水溫(度C)	21.30					
A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%)	pH				
		$B/(A+B)*100\%$	1次	2次	3次	平均	水溫(度C)
100	0	0.000	6.67	6.64	6.63	6.65	22.3
100	0.2	0.1996	5.7	5.5	5.5	5.57	21.8
100	0.3	0.299	5.5	5.3	5.3	5.37	22.3
100	0.5	0.498	5.2	5.1	5.1	5.13	22.2
100	1	0.990	5	5	4.9	4.97	22
100	1.25	1.235	5	4.9	4.9	4.93	21.6
100	1.5	1.478	4.6	4.59	4.57	4.59	20.1
100	1.75	1.720	4.53	4.54	4.52	4.53	19.3
100	2	1.961	4.72	4.7	4.68	4.70	22.3
100	2.5	2.439	4.48	4.45	4.46	4.46	22
100	3	2.913	4.41	4.41	4.41	4.41	21.6
100	5	4.762	4.48	4.47	4.46	4.47	21
100	7	6.542	4.54	4.52	4.52	4.53	19.4
100	9	8.257	4.53	4.52	4.51	4.52	21.1
100	18	15.254	4.58	4.55	4.55	4.56	20.6

【實驗三】研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。

電導	水溫(度C)	21.30				
A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%)	電導(mho/cm)			
		$B/(A+B)*100\%$	1次	2次	3次	平均
100	0	0.000	6.67	6.64	6.63	6.65
100	0.2	0.200	18	18	20	19
100	0.3	0.299	28	28	28	28
100	0.5	0.498	54	54	54	54
100	1	0.990	98	95	91	95
100	1.25	1.235	105	100	112	106
100	1.5	1.478	120	114	112	115
100	1.75	1.720	161	155	161	159
100	2	1.961	186	201	198	195
100	2.5	2.439	195	227	226	216
100	3	2.913	270	260	257	262
100	5	4.762	392	396	398	395
100	7	6.542	423	480	479	461
100	9	8.257	582	587	573	581
100	18	15.254	890	883	886	886

【實驗四】研究咖啡水溶液的總溶解固體 TDS 值與濃度的關係。

TDS水值	水溫(度C)	21.30				
A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%)	TDS(PPM)			
		$B/(A+B)*100\%$	1次	2次	3次	平均
100	0	0.000	18	13	13	15
100	0.2	0.200	125	125	125	125
100	0.3	0.299	204	196	196	199
100	0.5	0.498	209	209	209	209
100	1	0.990	408	428	498	445
100	1.25	1.235	589	572	572	578
100	1.5	1.478	673	647	720	680
100	1.75	1.720	802	829	829	820
100	2	1.961	931	931	931	931
100	2.5	2.439	990	990	990	990
100	3	2.913	1530	1320	1320	1390
100	5	4.762	2060	2020	2020	2033
100	7	6.542	2570	2570	2570	2570
100	9	8.257	2800	2800	2800	2800
100	18	15.254	2970	2800	2800	2857

【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

變距光敏電阻

水溫(度C)	21.30					
LED光色	咖啡濃度	光敏電阻 與光源距 離(cm)	光敏電阻反應電壓值(V)			
			1次	2次	3次	平均
白	0.2	0	0.847	0.83	0.829	0.835
白	0.2	1	0.164	0.16	0.152	0.159
白	0.2	2	0.094	0.085	0.085	0.088
白	0.2	3	0.064	0.062	0.063	0.063
白	0.2	4	0.049	0.049	0.048	0.049
白	0.2	5	0.037	0.036	0.037	0.037
白	0.2	6	0.025	0.026	0.024	0.025
白	0.2	7	0.013	0.013	0.014	0.013
白	0.2	8	0.008	0.008	0.008	0.008
白	0.2	9	0.004	0.003	0.003	0.003
白	0.2	10	0.003	0.002	0.003	0.003

水溫(度C)	21.30					
LED光色	咖啡濃度	光敏電阻 與光源距 離(cm)	光敏電阻反應電壓值(V)			
			1次	2次	3次	平均
白	0.3	0	0.6413	0.6403	0.6403	0.6406
白	0.3	1	0.1124	0.1144	0.1085	0.1118
白	0.3	2	0.0479	0.0479	0.0479	0.0479
白	0.3	3	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137
白	0.3	4	0.0049	0.0029	0.0039	0.0039
白	0.3	5	0.002	0.001	0.001	0.001
白	0.3	6	0.001	0.001	0.001	0.001
白	0.3	7	—	—	—	—
白	0.3	8	—	—	—	—
白	0.3	9	—	—	—	—
白	0.3	10	—	—	—	—

水溫(度C)	21.30					
LED光色	咖啡濃度	光敏電阻 與光源距 離(cm)	光敏電阻反應電壓值(V)			
			1次	2次	3次	平均
白	0.5	0	0.5406	0.5406	0.5406	0.5406
白	0.5	1	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
白	0.5	2	0.0186	0.0176	0.0186	0.0183
白	0.5	3	0.0059	0.0068	0.0068	0.0065
白	0.5	4	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
白	0.5	5	0.001	0.001	0.001	0.001
白	0.5	6	0.001	0.001	0.001	0.001
白	0.5	7	—	—	—	—
白	0.5	8	—	—	—	—
白	0.5	9	—	—	—	—
白	0.5	10	—	—	—	—

水溫(度C)	21.30						
LED光色	咖啡濃度	光敏電阻 與光源距 離(cm)	光敏電阻反應電壓值(V)				
			1次	2次	3次	平均	
白	1.25	0	0.1554	0.1408	0.1378	0.1447	
白	1.25	1	0.0978	0.0997	0.0978	0.0984	
白	1.25	2	0.087	0.0831	0.087	0.0857	
白	1.25	3	0.0832	0.0831	0.0831	0.0831	
白	1.25	4	0.0836	0.0802	0.0821	0.0820	
白	1.25	5	0.0831	0.0841	0.0841	0.0838	
白	1.25	6	0.0772	0.0782	0.0762	0.0772	
白	1.25	7	0.0733	0.0704	0.0723	0.0720	
白	1.25	8	0.0762	0.0772	0.0772	0.0769	
白	1.25	9	0.0762	0.0762	0.7214	0.2913	
白	1.25	10	—	—	—	—	

定距光敏電阻

	水溫(度C)	21.8						
LED光色	測距(cm)	A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%)	光敏電阻反應電壓值(V)			
3V				$B/(A+B)*100\%$	1次	2次	3次	平均
白	0.5	3	10	23.08	0.0614	0.0665	0.0626	0.0635
白	0.5	3	20	13.04	0.0701	0.0763	0.0753	0.0739
白	0.5	3	30	9.09	0.0781	0.081	0.0807	0.0799
白	0.5	3	40	6.98	0.0821	0.0812	0.0848	0.0827
白	0.5	3	50	5.66	0.0911	0.0856	0.0887	0.0885
白	0.5	3	100	2.91	0.1672	0.1662	0.1652	0.1662
白	0.5	3	150	1.96	0.2141	0.2131	0.2131	0.2134
白	0.5	3	200	1.48	0.2766	0.2767	0.2747	0.2760
白	0.5	3	240	1.23	0.3353	0.3314	0.3314	0.3327
白	0.5	3	300	0.99	0.3685	0.3724	0.3656	0.3688
白	0.5	3	500	0.60	0.4936	0.4933	0.4956	0.4942
白	0.5	3	700	0.43	0.5631	0.5693	0.5611	0.5645
白	0.5	3	1000	0.30	0.5987	0.6011	0.6012	0.6003
白	0.5	0	10	0.00	0.6716	0.6608	0.6657	0.6660

【實驗六】研究咖啡水溶液的溫度與 TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。

TDS		TDS(PPM)			
濃度(咖啡：水)	水溫(度C)	1次	2次	3次	平均
0.5:50	15.3	332	332	332	332
0.5:50	35.1	589	589	589	589
0.5:50	46	720	720	720	720
1.5:50	23.1	1190	1190	1190	1190
1.5:50	33.1	1700	1700	1700	1700
1.5:50	45.3	2060	2060	2060	2060

光敏電壓		光敏電壓(V)			
濃度(咖啡：水)	水溫(度C)	1次	2次	3次	平均
0.5:50	19.8	0.4068	0.4077	0.4082	0.4076
0.5:50	30.7	0.3922	0.3919	0.3913	0.3918
0.5:50	46	0.365	0.37	0.374	0.3697
1.5:50	10	0.3002	0.3004	0.2998	0.3001
1.5:50	22.2	0.2835	0.2831	0.2839	0.2835
1.5:50	45.3	0.2132	0.2135	0.2128	0.2132

【實驗七】研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校 STEAM 課程)

預計濃度 (%)		全重(水+咖+瓶)(g)	(咖+瓶)重(g)	瓶重(g)	A水重(g)	B咖粉重(g)	實測濃度 (%)	濃度正確率 (%)
0.50	1次	88.48	81.75	81.72	6.73	0.03	B/(A+B)*100%	實測濃度 / 預計濃度 *100%
	2次	88.5	81.77	81.73	6.73	0.04		
	3次	88.5	81.75	81.73	6.75	0.02		
	平均	88.49	81.76	81.73	6.74	0.03	0.44	88.67
1.32	1次	227.76	170.41	169.71	57.35	0.7	B/(A+B)*100%	實測濃度 / 預計濃度 *100%
	2次	227.77	170.43	169.71	57.34	0.72		
	3次	227.77	170.42	169.72	57.35	0.7		
	平均	227.77	170.42	169.71	57.35	0.71	1.22	92.22

柒、討論

【材料分析】比較即溶咖啡粉與研磨咖啡粉之差異

<方法>利用近照比對雀巢經典醇品咖啡萃取粉、金麒麟研磨咖啡粉的細粒大小。取 0.5g 萃取粉及研磨咖啡粉，分別加入 50g 的飲用水，使萃取粉溶解、研磨咖啡粉釋出濃度，以比對顏色及透明度，如下所示。

	雀巢經典醇品咖啡萃取粉	金麒麟研磨咖啡粉
外包裝		
咖啡原料顆粒大小	 顆粒直徑約 0.2mm	 顆粒直徑約 2 mm
咖啡重 / 水重 = 0.5/50		
咖啡重 / 水重 = 0.5/50		
咖啡重 / 水重 = 0.5/50		

<結果>

1. 咖啡粉顆粒大小：雀巢經典醇品咖啡（直徑約 0.3mm） < 金麒麟研磨咖啡（直徑約 2mm）。
2. 溶解度：雀巢經典醇品咖啡 > 金麒麟研磨咖啡。
3. 溶解速度：雀巢經典醇品咖啡 > 金麒麟研磨咖啡。
3. 沖泡後顏色：雀巢經典醇品咖啡能完全溶解為較深棕色；金麒麟研磨咖啡不能溶解但可釋出濃度，為較淺棕色。
4. 沖泡後透明度：雀巢經典醇品咖啡 < 金麒麟研磨咖啡。

<發現>

溶解速度：雀巢經典醇品咖啡 > 金麒麟研磨咖啡。沖泡後的顏色皆為咖啡色，雀巢經典醇品咖啡能完全溶解為較深棕色，金麒麟研磨咖啡不能溶解但可釋出濃度為較淺棕色。

【實驗一】研究咖啡水溶液的色紙分析法與濃度的關係。

<方法>將測試用白試紙放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中（0、0.1996、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%）並靜置 10 秒後取出。分別比較取出白紙上殘留的不同濃度的咖啡色濃度，如下所示。

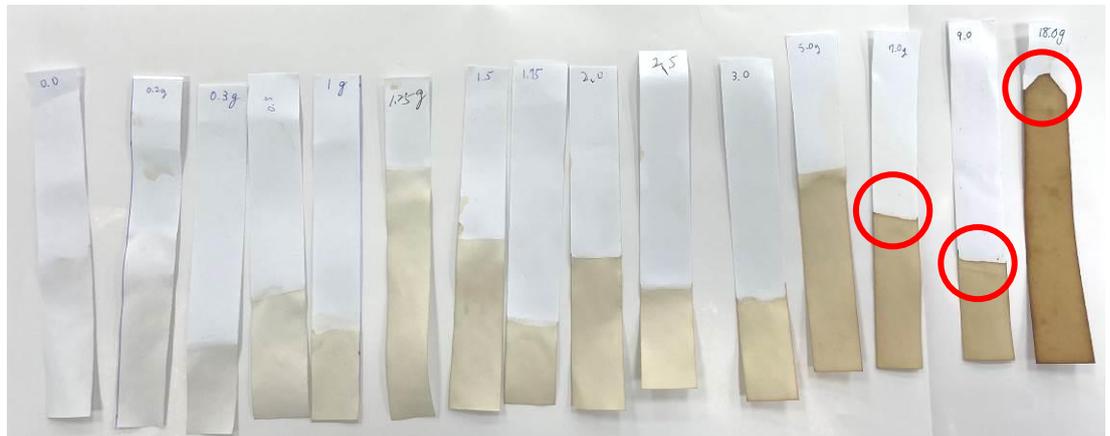


圖 7.1 測試用白試紙放入情形

圖 7.2 不同濃度的咖啡水溶液-色紙分析情形（0、0.1996、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%）

<結果>

1. 測試紙上的咖啡殘留色由淺到深（水 100g）：咖啡重 0.2 < 0.3 < 0.5 < 1 < 0.25 < 1.5 < 1.75 < 2 < 2.5 < 3 < 5 < 7 = 9 < 18g。
2. 咖啡濃度越高，測試紙上的殘留咖啡色越深。
3. 測試紙放置時間越久，色高度會越高。
4. 咖啡重量百分濃度 > 6.542%（咖啡重：水重 = 7：100）時，測試紙的色高度最上端，會出現一橫條的深色咖啡堆積。

<發現>

咖啡濃度越高，測試紙上的殘留咖啡色越深。咖啡重量百分濃度 $\geq 6.542\%$ （咖啡重：水重 = 7：100）時，測試紙的色高度最上端，會出現一橫條的深色咖啡堆積。我們認為此時咖啡可能達到飽和狀態。

<探究分析>

測試紙的色高度最上端，在高濃度時會出現一橫條的深色咖啡堆積。我們推論這時的咖啡濃度非常高，已經出現不能再溶解的情況，所以固態咖啡粉就會在測試紙上因為毛細現象而隨水流動到最前端，最後堆積下來。所以我們認為這時

就可間接認定為咖啡可能達到飽和狀態。

【實驗二】研究咖啡水溶液的酸鹼 pH 值與濃度的關係。

<方法>將酸鹼 pH 計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中並讀取，繪製出酸鹼 pH 值-重量百分濃度關係圖，如下所示。

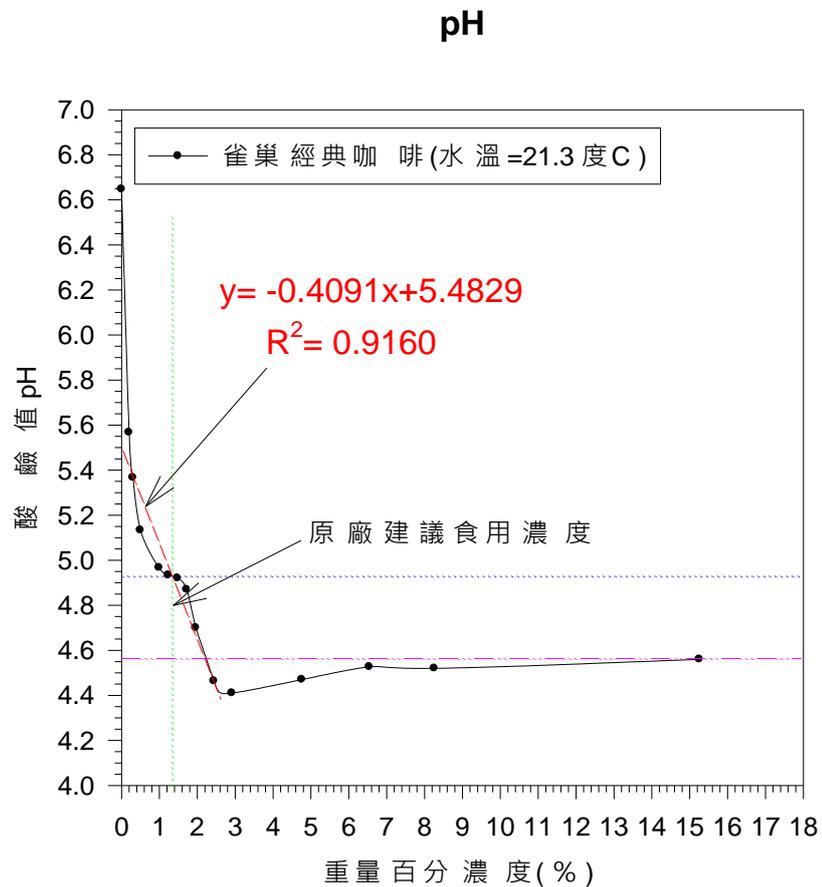


圖 7.3 酸鹼 pH 計量測情形

圖 7.4 酸鹼 pH 值-重量百分濃度之關係圖

<結果>

1. 咖啡溶於水時程弱酸性。
2. 平均趨勢：酸鹼 pH 值與咖啡濃度呈負相關性。濃度越高，pH 值越低。
3. 雀巢經典咖啡 pH 值有最小值為 4.4(濃度=2.6%時)。濃度在 0%~2.6% 時，pH 值呈現下降趨勢(約下降酸度的 33.8%)。初期 pH 值與咖啡濃度為負相關後趨向於定值(約 4.57)。
4. 低濃度咖啡時，酸鹼 pH 值變化較大；高濃度咖啡時較不易變化(濃度 6.3~15.1)。
5. 原廠建議咖啡食用濃度為 1.32%，pH 值為 4.94。
6. 總共有三個轉折點(第二個往後 pH 值不會再下降)。
7. 酸鹼 pH 值<4.57 時，pH 值會趨向於定值，但不易判別濃度。

<發現>

咖啡溶於水時呈弱酸性，平均趨勢酸鹼 pH 值與咖啡濃度呈負相關性，原廠建議食用濃度為 1.32%，pH 值為 4.94。雀巢經典咖啡有最小 pH 值為 4.4（濃度=2.6%時），初期 pH 值與咖啡濃度為負相關後趨向於定值（約 4.57）。

<探究分析>

由上結果我們認為，咖啡濃度在<2.6% 時，可以利用 pH 值反推咖啡濃度，但在較高濃度時，較難利用 pH 值反推咖啡濃度的走向。雖然酸鹼 pH 值<4.57 時，pH 值會趨向於定值，但不易判別濃度及飽和狀態。所以我們認為酸鹼 pH 法尋找咖啡濃度為不全面的測量方法。

【實驗三】研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。

<方法>電導度計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中並讀取，繪製電導度值-重量百分濃度關係圖，如下所示。

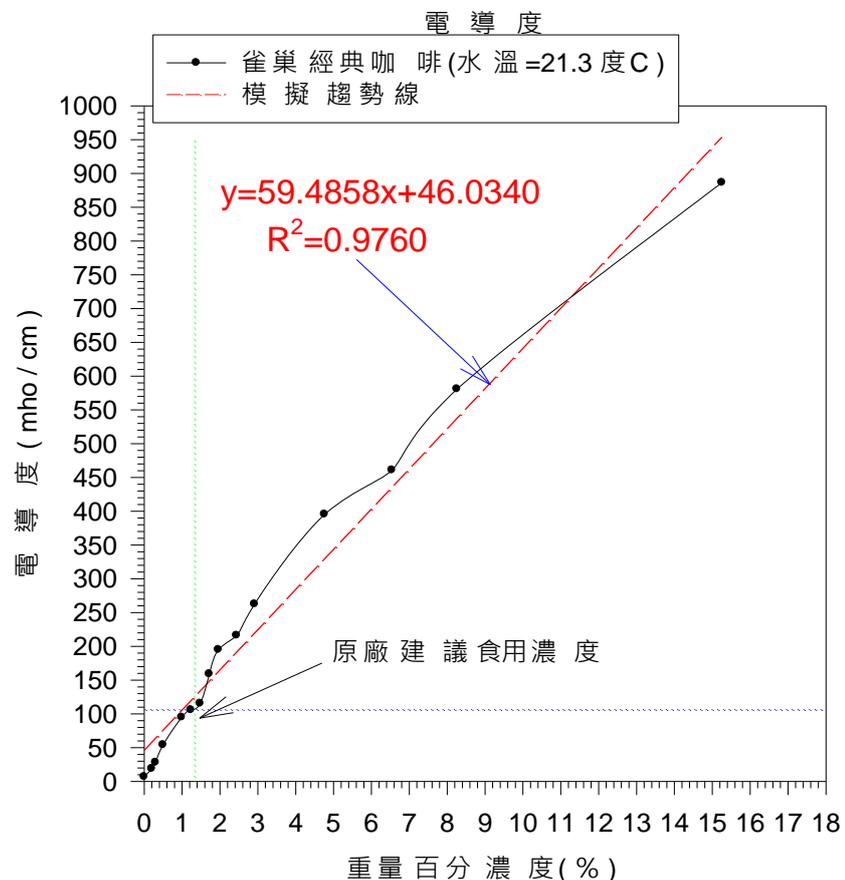


圖 7.5 電導度計測量情形

圖 7.6 電導度值-重量百分濃度之關係圖

<結果>

1. 電導度值與咖啡濃度呈正相關性。濃度越高，電導度值高。
2. 設濃度 15.0% 為 100%，濃度 5.3% 時電導度值上升 47.2%。
3. 平均趨勢咖啡濃度增加 1%，電導度值上升 62 mho/cm。

4. 原廠建議咖啡食用濃度為 1.32%，電導度值為 110mho/cm。

<發現>

電導度值與咖啡濃度呈正相關性，平均趨勢咖啡濃度增加 1%，電導度值上升 62 mho/cm。原廠建議咖啡食用濃度為 1.32%，電導度值為 110mho/cm。

<探究分析>

由上結果我們認為，電導度計在常水溫時較為穩定且良好，但在中高水溫時量測電導度值會極度不穩定，讓我們無法定出正確咖啡濃度，且無法判斷飽和狀態，所以我們認為電導度法尋找咖啡濃度為不太優的測量方法。

【實驗四】研究咖啡水溶液的總溶解固體 TDS 值與濃度的關係。

<方法>水質檢測 TDS 計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中並讀取，繪製 TDS 值-重量百分濃度關係圖，如下所示。

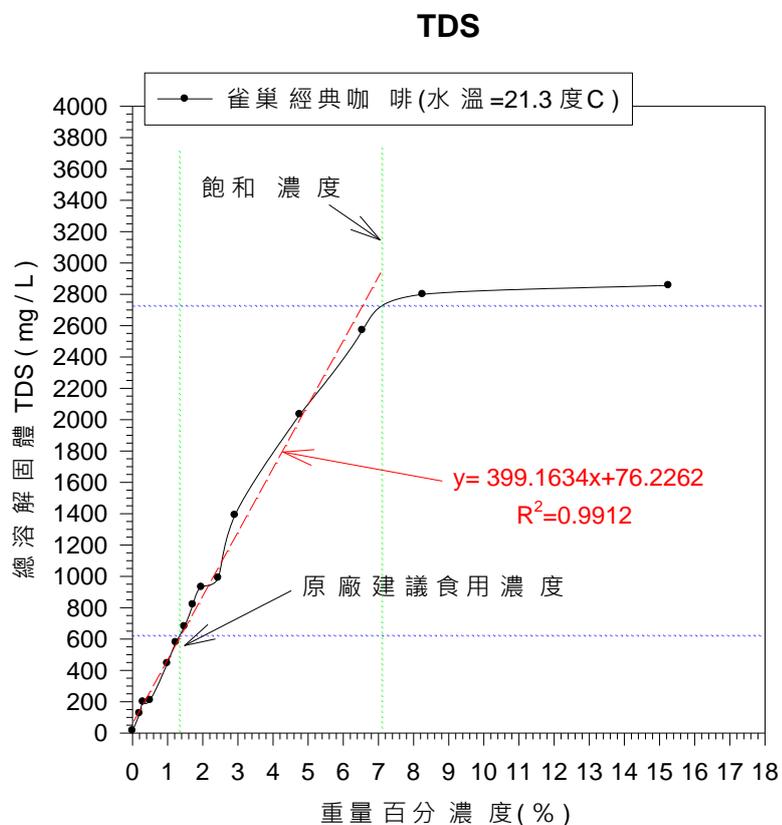


圖 7.7 數位 TDS 水質檢測計（總溶解固體）量測情形

圖 7.8 總溶解固體值-重量百分濃度之關係圖

<結果>

1. 水質 TDS 值與咖啡濃度呈正相關性。濃度越高，TDS 值越高。
2. 咖啡濃度為 7.1%時 TDS 值有轉折點（TDS=2750 PPM），濃度>7.1%時 TDS 值趨於平緩。
3. 設咖啡濃度 15.3%為 100%，咖啡濃度在 3%時 TDS 值為 49.1%，咖啡濃度在 7.2%時 TDS 值為 96.5%。
4. 平均趨勢咖啡濃度增加 1%，TDS 值上升 263 PPM（mg/L）。

5. 咖啡濃度 $<7.1\%$ ，咖啡濃度增加 1% ，TDS 值上升 392 PPM (mg/L)。
6. 原廠建議咖啡食用濃度為 1.32% ，TDS 為 600 PPM (mg/L)。

<發現>

水質 TDS 值與咖啡濃度呈正相關性。咖啡濃度為 7.1% 時 TDS 值有轉折點 (TDS=2750 PPM)。咖啡濃度 $<7.1\%$ ，咖啡濃度增加 1% ，TDS 值上升 392 mho/cm。原廠建議咖啡食用濃度為 1.32% ，TDS 為 600 PPM (mg/L)。

<探究分析>

由上結果，TDS 值在量測不同濃度時有良好的反應性及穩定性，濃度 $>7.1\%$ 時 TDS 值趨於平緩，所以我們認為濃度 $=7.1\%$ (TDS=2750 PPM)，就是此咖啡的飽和濃度。

為何 TDS 值趨於平緩，就可能達飽和狀態？我們根據相關文獻得知 TDS 的工作量測是在量測水中溶解的固體物質總量，咖啡在更高濃度時若不能繼續被水溶解，咖啡就會沉澱即為飽和，這時的可溶解的固體物質總量 TDS 值就不會再增加而趨於平緩。所以我們認為 TDS 法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。

【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

<方法>定距光敏電阻 (第二代光感測棒)：取雀巢經典醇品咖啡萃取粉 3g，分別溶解在 10、20、30、40、50、100、150、200、240、300、500、700、1000g 室溫飲用水中。架設 Webduino 並讀取光敏電阻反應電壓值。比較光敏電阻反應電壓值與濃度的關係，如下所示。

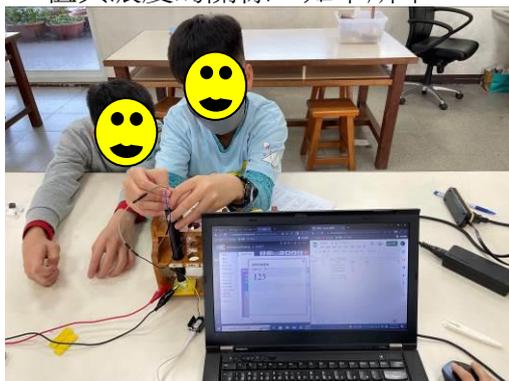


圖 7.9 運用光度計測量電壓與濃度的關係情形

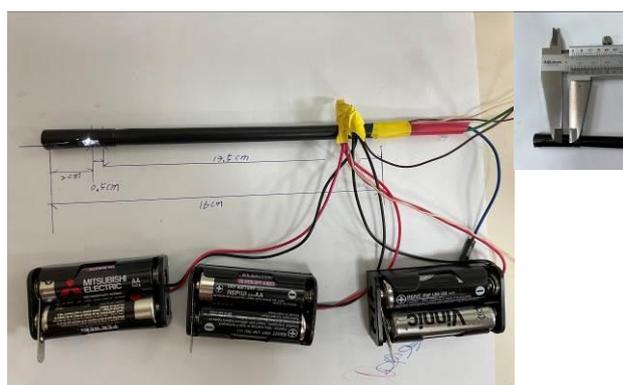


圖 7.10 第二代自行設計及製作的光感測棒組立情形

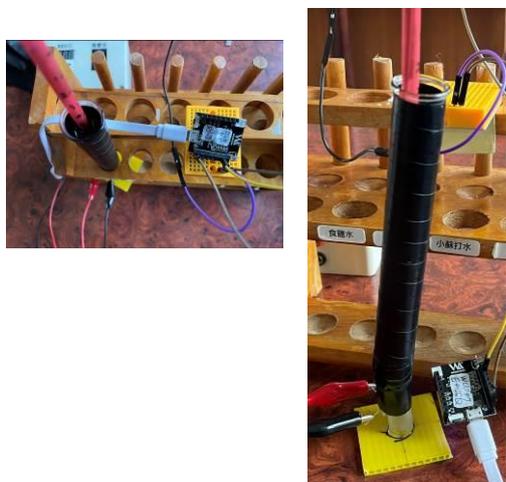


圖 7.11 第一代光感測棒及 Webduino 架設、量

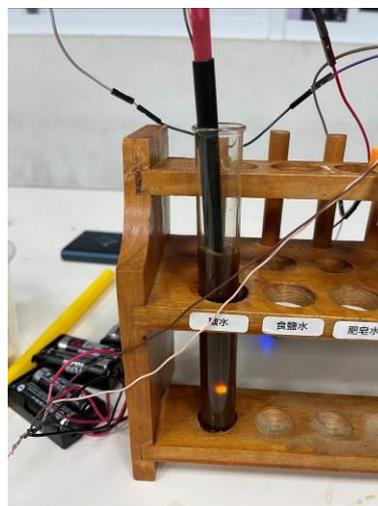


圖 7.12 第二代光感測棒及 Webduino 架設、量

測情形

白光照

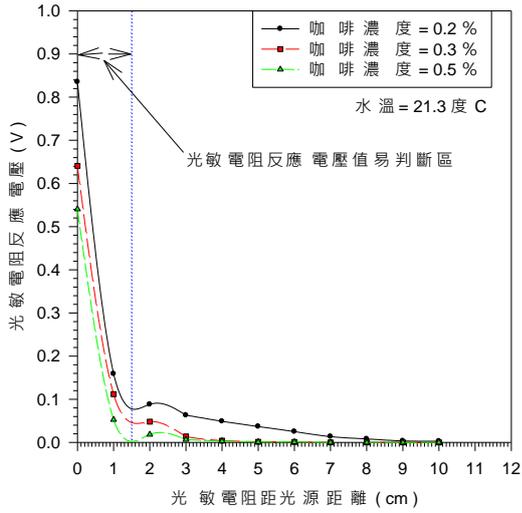


圖 7.13 第一代光感測棒，光敏電阻反應電壓值-光敏電阻距光源距離之關係圖

測情形

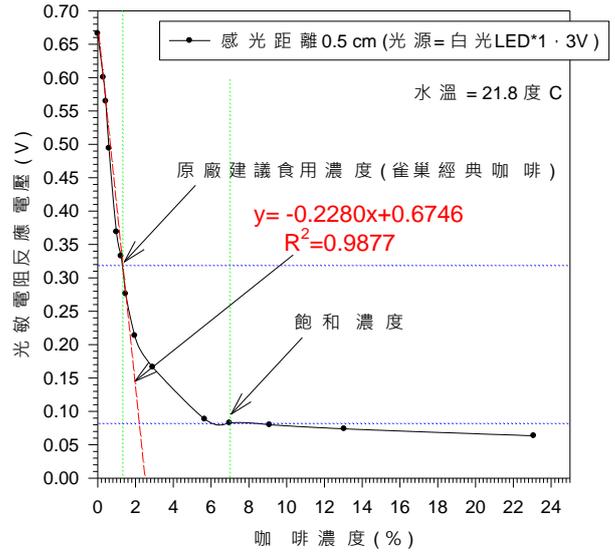


圖 7.14 第二代光感測棒，光敏電阻反應電壓值-咖啡濃度之關係圖

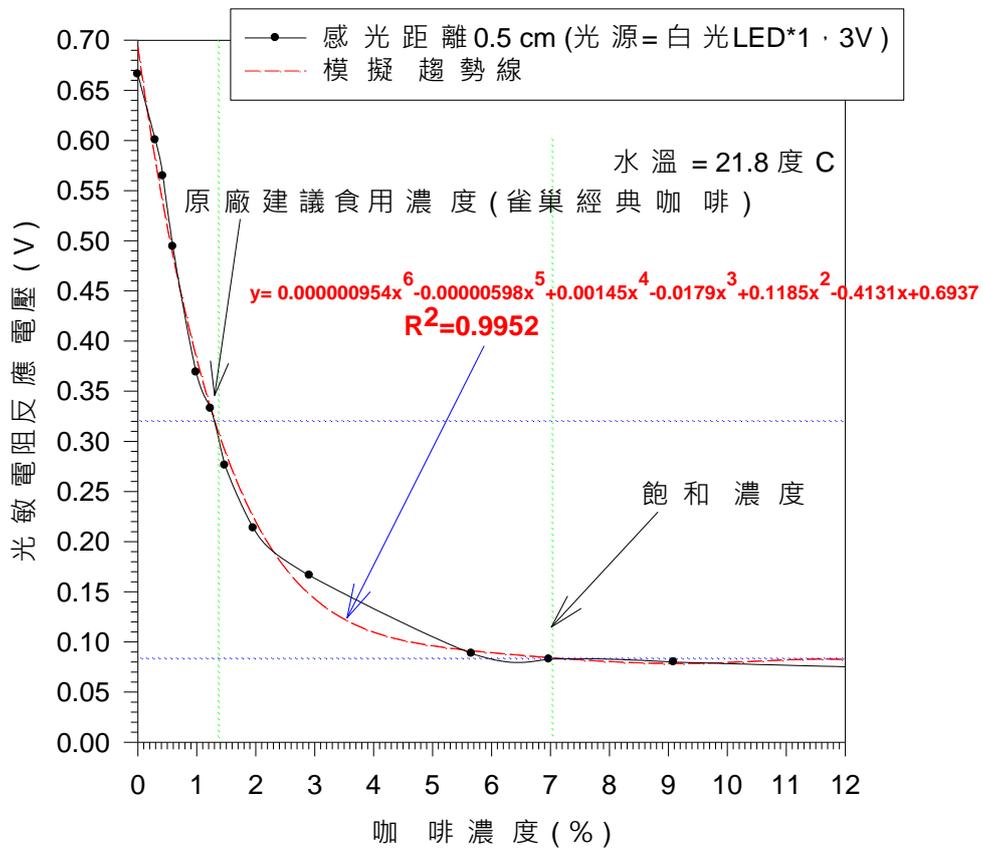


圖 7.15 光敏電阻反應電壓值-咖啡濃度之關係圖(模擬趨勢圖)



圖 7.16 Webduino、光敏電阻-程式積木編寫情形

<結果>

1. 由圖 7.13 變距光敏電阻（第二代光感測棒），光敏電阻與發光二極體 LED 之間間距 $<1.5\text{cm}$ 時，光敏電阻反應電壓值與光敏電阻距光源距離呈平直負相關性。光源距離越近，反應電壓值越高。
2. 最易判別出電壓值的光敏電阻與 LED 間間距（我們設定為 0.5cm ）。
3. 光敏電阻反應電壓值與咖啡濃度呈負相關性。濃度越高，光敏電阻反應電壓值越低。
4. 平均趨勢咖啡濃度增加 1% ，光敏電阻反應電壓值下降 0.0227V 。
5. 咖啡濃度 $<7.0\%$ ，咖啡濃度增加 1% ，光敏電阻反應電壓值下降 0.0765V 。
6. 咖啡濃度為 7.0% 時光敏電阻反應電壓值有轉折點（反應電壓 $=0.08\text{V}$ ），濃度 $>7.0\%$ 時光敏電阻反應電壓值趨於平緩。
7. 濃度 $0\% \sim 1.3\%$ →電壓下降 52.24% ；濃度 $1.3\% \sim 6.3\%$ →電壓下降 35.82% 。濃度低時電壓變化較大；濃度高電壓變化較小。
8. 原廠建議咖啡食用濃度為 1.32% ，光敏電阻反應電壓值為 0.32V 。

<發現>

光敏電阻反應電壓值與光敏電阻距光源距離呈負相關性，也與咖啡濃度呈負相關性。平均趨勢咖啡濃度增加 1% ，光敏電阻反應電壓值下降 0.0227V 。咖啡濃度為 7.0% 時光敏電阻反應電壓值有轉折點（反應電壓 $=0.08\text{V}$ ）。原廠建議咖啡食用濃度為 1.32% ，光敏電阻反應電壓值為 0.32V 。

<探究分析>

由上結果，光敏電阻反應電壓值在量測不同濃度時有良好的反應性及穩定性，濃度 $>7.0\%$ 時反應電壓值趨於平緩，所以我們認為濃度 $=7.0\%$ （光敏電阻反應電壓值 $=0.08\text{V}$ ），就是此咖啡的飽和濃度。

為何光敏電阻反應電壓值趨於平緩，就可能達飽和狀態？我們根據相關文獻得知光敏電阻的工作原理是利用光反應改變電阻值，光強度增加，則電阻減小，反應電壓會增加，當咖啡在更高濃度時不能繼續被水溶解，咖啡就會沉澱即為飽和，這時的溶液的透光度就不會再減少而趨於平緩，相對的光敏電阻值及反應電壓也會趨於平緩。所以我們認為光敏電阻反應電壓法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。

【實驗六】研究咖啡水溶液的溫度與 TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。

<方法>分別取 0.5、1.5g 雀巢經典醇品咖啡萃取粉，溶解在 50g 飲用水中，取得低溫、中溫、高溫的咖啡水溶液。比較 TDS 計、定距光敏電阻測棒與溫度的關係，如下所示。

		雀巢經典醇品咖啡萃取粉	
咖啡重 /水重 =0.5/50		投影光照法	
咖啡重 /水重 =1.0/50		投影光照法	
咖啡重 /水重 =1.5/50		投影光照法	

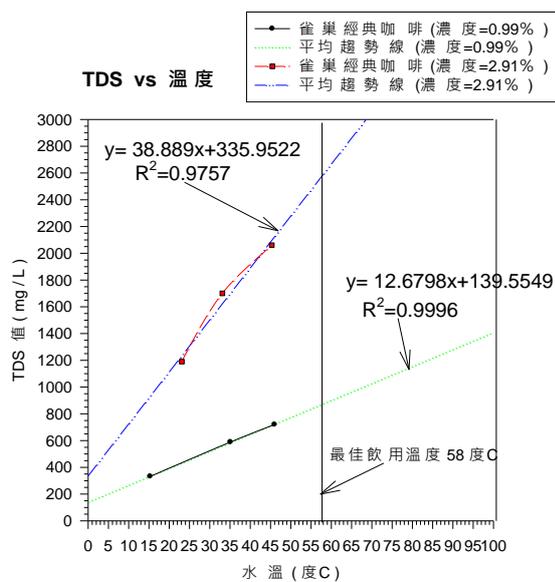


圖 7.17 TDS 值-水溫之關係圖

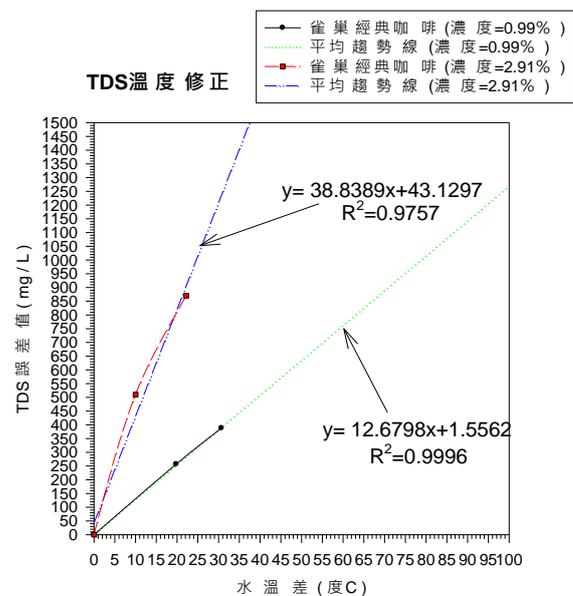


圖 7.18 TDS 差值-水溫差之關係圖

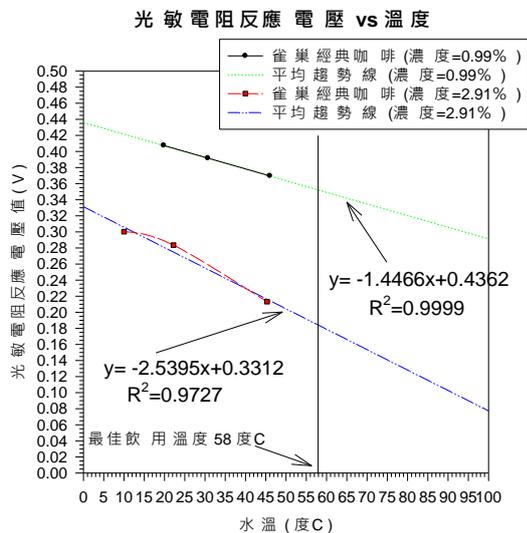


圖 7.19 光敏電阻反應電壓值-水溫之關係圖

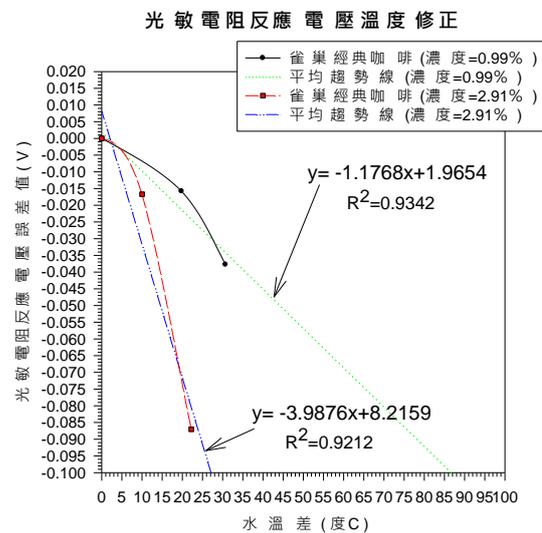


圖 7.20 光敏電阻反應電壓差值-水溫差之關係圖

<結果>

TDS 部份：

1. TDS 值與水溫平均趨勢呈正相關性。
2. 咖啡濃度越高，水溫對 TDS 的影響會越明顯。
3. 咖啡濃度 0.99%時，每 1 度 C 水溫，會讓 TDS 增加 12.8PPM (mg/L)。
4. 咖啡濃度 2.91%時，每 1 度 C 水溫，會讓 TDS 增加 39.57PPM (mg/L)。
5. 最佳飲用溫度 58 度 C，咖啡濃度 0.99%時 (TDS 值=880 PPM)、咖啡濃度 2.91%時 (TDS 值=2580 PPM)。

光敏電阻反應電壓值部份：

1. 光敏電阻反應電壓值與水溫平均趨勢呈負相關性。
2. 咖啡濃度越高，水溫對光敏電阻反應電壓的影響會越明顯。
3. 咖啡濃度 0.99%時，每 1 度 C 水溫，會讓光敏電阻反應電壓減少 0.0011V。
4. 咖啡濃度 2.91%時，每 1 度 C 水溫，會讓光敏電阻反應電壓減少 0.004V。
5. 最佳飲用溫度 58 度 C，咖啡濃度 0.99%時 (光敏電阻反應電壓=0.355V)、咖啡濃度 2.91%時 (光敏電阻反應電壓=0.185V)。

<發現>

溫度對 TDS、光敏電阻反應電壓都有影響，其中 TDS 值與水溫平均趨勢呈正相關性，光敏電阻反應電壓值與水溫平均趨勢呈負相關性。咖啡濃度越高，水溫對 TDS 及光敏電阻反應電壓的影響會越明顯。最佳飲用溫度 58 度 C，咖啡濃度 0.99%時，TDS 值=880 PPM，光敏電阻反應電壓=0.355V。

【實驗七】研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校 STEAM 課程)

<方法>根據【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係的結果，再利用定距光敏電阻測棒、Webduino 控制晶片組，設計及自製咖啡濃度控制器，探討咖啡濃度控制器的可行性，如下所示。

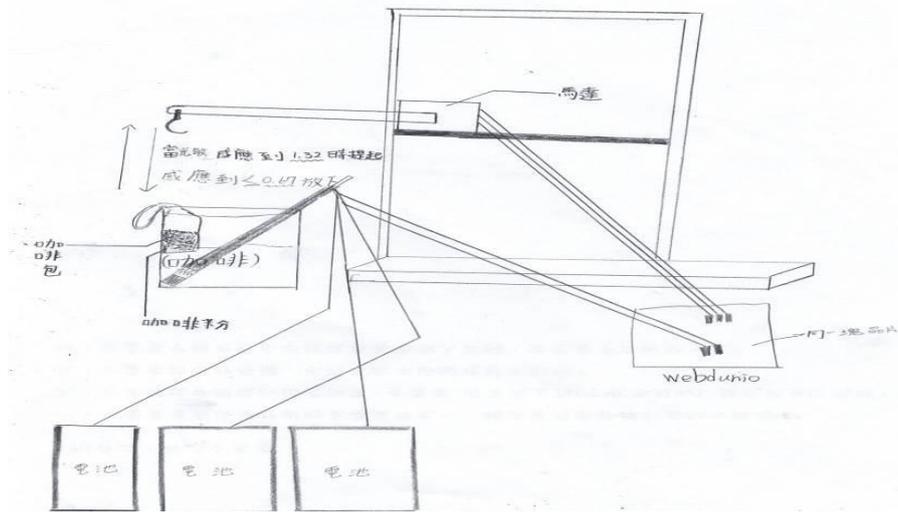


圖 7.21 自製咖啡濃度控制器設計圖



圖 7.22 自製咖啡濃度控制器組立正面



圖 7.23 自製咖啡濃度控制器組立側面

<結果>

1. 程式積木語法：咖啡濃度控制-機械手臂釣舉咖啡包

2. 操作圖：

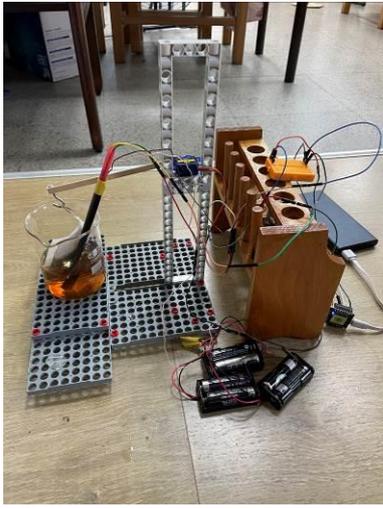


圖 7.24 咖啡濃度控制器-袋裝研磨咖啡放入情形

3.效果：

試喝

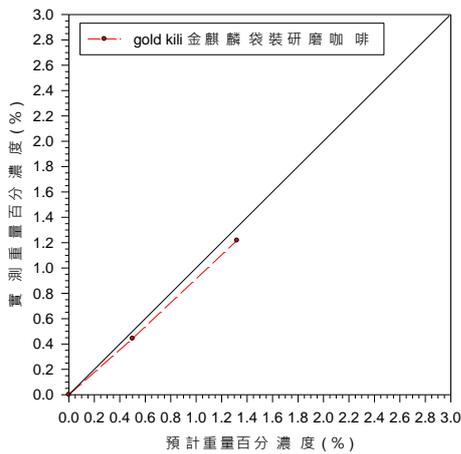


圖 7.26 實測濃度-預計濃度之關係圖



圖 7.25 咖啡濃度控制器-袋裝研磨咖啡濃度到達釣起情形

試喝

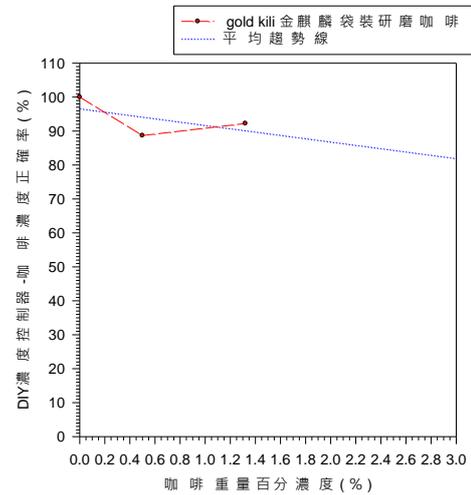


圖 7.27 濃度正確率-咖啡濃度之關係圖

- (1) 光敏電阻反應電壓量測的咖啡濃度與預計濃度皆呈正相關性。
- (2) 咖啡實測濃度 \leq 預計濃度。
- (3) 運用光敏電阻反應電壓來測量咖啡濃度，其準確率約為 82~97%。
- (4) 平均趨勢咖啡濃度越高，光敏電阻測量咖啡濃度的準確率會越低。

<發現>

光敏電阻反應電壓實際量測的咖啡濃度與預計濃度皆呈正相關性，所以自製咖啡濃度控制器是可行的。而實測咖啡濃度控制器效果佳，其濃度略低於預計濃度，準確率約為 82~97%。平均趨勢咖啡濃度越高，準確率會略為降低。

<探究分析>

為何咖啡濃度控制器實測濃度略低於預計濃度，其準確率會低一些，與小組討論後我們推論：研磨咖啡溶解在水中，濃度最高的在咖啡袋附近、濃度最低的在離咖啡袋最遠的地方，而我們的光敏電阻濃度測筆則放在杯正中央，也就是說較接近咖啡袋，因濃度高未完全擴散，光敏電阻附近已達濃度預設值，此時機械手臂就先提取，因此實際濃度會<預設濃度值。所以我們建議可以將光敏電阻濃度測筆放置在咖啡袋與杯壁的中間距離，即可提高濃度準確率。

捌、結論

- 一、色紙分析法：咖啡濃度越高，測試紙上的殘留咖啡色越深。雀巢經典醇品咖啡萃取粉咖啡重量百分濃度=>6.542%（咖啡重：水重=7：100）時，測試紙的色高度最上端，會出現一橫條的深色咖啡堆積。我們認為此時咖啡可能達到飽和狀態。
- 二、酸鹼 pH 法：咖啡溶於水時程弱酸性，平均趨勢酸鹼 pH 值與咖啡濃度呈負相關性，原廠建議食用濃度為 1.32%，pH 值為 4.94。咖啡濃度在 <2.6% 時，可以利用 pH 值反推咖啡濃度，但在較高濃度時，較難利用 pH 值反推咖啡濃度的走向。雖然 pH 值<4.57 時，pH 值會趨向於定值，但不易判別濃度及飽和狀態。所以我們認為酸鹼 pH 法尋找咖啡濃度為不全面的測量方法。
- 三、電導度法：電導度值與咖啡濃度呈正相關性，平均趨勢咖啡濃度增加 1%，電導度值上升 62 mho/cm。原廠建議咖啡食用濃度為 1.32%，電導度值為 110mho/cm。電導度計在中高水溫時量測電導度值極度不穩定且無法判斷飽和狀態，電導度法尋找咖啡濃度為不太優的測量方法。
- 四、TDS 法：水質 TDS 值與咖啡濃度呈正相關性。咖啡濃度<7.1%時，咖啡濃度增加 1%，TDS 值上升 392 PPM（mg/L）。TDS=2750 PPM（mg/L）達到飽和濃度（7.1%）。原廠建議咖啡食用濃度為 1.32%，TDS 為 600 PPM（mg/L）。我們認為 TDS 法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。
- 五、光敏電阻反應電壓法：光敏電阻反應電壓值與光敏電阻距光源距離呈負相關性，也與咖啡濃度呈負相關性。平均趨勢咖啡濃度增加 1%，光敏電阻反應電壓值下降 0.0227V。光敏電阻反應電壓值=0.08V 達到飽和濃度（7.0%）。光敏電阻反應電壓值為 0.32V 達原廠建議咖啡食用濃度 1.32%。我們認為光敏電阻反應電壓法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。
- 六、溫度與 TDS、光敏電阻反應電壓值的關係：溫度對 TDS、光敏電阻反應電壓都有影響，其中 TDS 值與水溫平均趨勢呈正相關性，光敏電阻反應電壓值與水溫平均趨勢呈負相關性。咖啡濃度越高，水溫對 TDS 及光敏電阻反應電壓的影響會越明顯。最佳飲用溫度 58 度 C、咖啡濃度 0.99% 時→TDS 值=880 PPM、光敏電阻反應電壓=0.355V。
- 七、自製咖啡濃度控制器的可行性：光敏電阻反應電壓實際量測的咖啡濃度與預計濃度皆呈正相關性，所以自製咖啡濃度控制器是可行的。而實測咖啡

咖啡濃度控制器效果佳，其濃度略低於預計濃度，準確率約為 82~97%。

玖、參考資料及其他

- 一、劉君祖等人 (2002)，小牛頓科學百科 4，台北：牛頓出版股份有限公司。
- 二、C. E. Mortimer /著，潘家寅/譯 (1987)，大學化學，台北：乾泰圖書。
- 三、劉俊輝、舒福壽 (2009 年 6 月初版)，實用電子電路實作應用，台北：台科大圖書股份有限公司。
- 四、葉難 (2014)，Arduino 輕鬆入門：範例分析與實作設計，新北市：博碩文化。
- 五、樊蓁蓁、楊哲、黃采儀、傅安誼、蔡銘哲 咖啡大戰，「原」力覺醒~探討咖啡中的綠原酸。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。
- 六、李謙、莊崑翔 「啡」常手段抗 UV-咖啡渣粗萃物之抗紫外線效果研究。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 七、楊兆迪、楊華育 等一杯想要的咖啡~咖啡發酵，健康美味加分。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。
- 八、陳昱安、黃宥涵、張硯涵 咖啡廢棄物再利用-咖啡果皮之研究。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會。
- 九、維基百科 咖啡 (coffee)
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%92%96%E5%95%A1>
- 十、維基百科 重量 (質量) 百分濃度 (質量分數, m/m)
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%93%E5%BA%A6>
- 十一、pH 值
<https://www.more-ml.com/%E5%B0%8F%E6%95%99%E5%AE%A4/ph%E5%80%BC%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC/>
- 十二、全國環境水質監測資訊網 電導度 (Electrical conductivity, EC)
https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_48.aspx
- 十三、全國環境水質監測資訊網 總溶解固體 (Total dissolved solids, TDS)
https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_07.aspx
- 十四、維基百科 光敏電阻 (Photoresistor)
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E6%95%8F%E7%94%B5%E9%98%BB>

BB

【評語】 080216

1. 利用光敏電阻值作為咖啡濃度控制器的概念已初具分析化學中監測反饋訊號(sensing and feedback)以達到控制之目的之雛形，創意與工藝程度頗高。
2. 能夠找出咖啡濃度與 TDS 以及光敏電阻值的關係，並以迴歸方程式建立經驗方程式。
3. 本作品所需之器材並不複雜，但極富創意，且實驗結果豐富而具體。
4. 咖啡的口感好壞影響因素很多，如果只用單一濃度來判定咖啡的口感，不是很完善的作法。

作品海報

咖啡濃度的密碼



想藉科展來自製方便準確的濃度咖啡機。

市售即溶咖啡粉經本研究顯示：(1) 咖啡濃度越高測紙殘留色越深。濃度>6.542%達飽和。(2) 咖啡溶水呈弱酸，pH與咖啡濃度呈負相關。廠建議濃度1.32%其pH為4.94。pH<4.57時不易判別濃度為不全面的濃度測法。(3) 電導度與咖啡濃度呈正相關。建議濃度1.32%其電導度為110mho/cm。電導度在中高水溫時不穩定且無法判斷飽和為不優濃度測法。(4) TDS與咖啡濃度呈正相關。建議濃度1.32%其TDS為600 PPM為可行濃度測法。(5) 光敏電阻反應電壓與咖啡濃度呈負相關。建議濃度1.32%其反應電壓為0.32V為可行濃度測法。(6) TDS與水溫呈正相關、光敏電阻反應電壓與水溫呈負相關。(7) 運用光敏電阻反應電壓來自製咖啡濃度控制器是可行，準確率約為82~97%。

壹、研究動機

每天早上爸爸都會泡咖啡，看著他拿起雀巢即溶咖啡的罐子，舀出一匙即溶咖啡粉，接著加水攪拌。這時我注意到罐子上的「原廠建議食用濃度」是1.32%。這代表一杯一百公克的水裡得加入約1.34g的即溶咖啡粉，但是爸爸舀的這匙咖啡粉明顯已經超過1.34公克，久了會造成不必要的浪費，加上泡的濃度的不固定，即使使用在高級的咖啡粉，總難以品嚐到最佳的口感。近些日子爸爸進而流行喝起「浸泡式茶包咖啡」，濃度就更難控制了。因此，我們想藉由這次的科展來研究、自製一個既方便又準確的濃度咖啡機。可是我們又有更多的疑問，有甚麼測量方式可以最精確的泡出想要的濃度？是pH計嗎？電導度計嗎？還是其他的儀器……又要以甚麼型態來沖泡？咖啡包、就連咖啡機的設計圖也是個惱人的問題。為了解心中的疑問，於是與幾位同學在老師的指導下，作了以下有趣的研究。

貳、研究目的

探究咖啡在不同的濃度及溫度下，對pH、電導度、水質計的影響與變化。依據這些數據，可以提供資訊來設定機器程式，創造出一個咖啡濃度計，讓我們往後想喝咖啡時，能自動測量一定的濃度並提出咖啡包同時發聲以提醒人來拿取。

所以有了以下研究目的：

- 一、研究咖啡水溶液的色紙分析法與濃度的關係。
- 二、研究咖啡水溶液的酸鹼pH值與濃度的關係。
- 三、研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。
- 四、研究咖啡水溶液的總溶解固體TDS值與濃度的關係。
- 五、研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。
- 六、研究咖啡水溶液的溫度與TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。
- 七、研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校STEAM課程-浸泡式茶包咖啡為例)

我們的研究架構，如下(圖2.1)所示

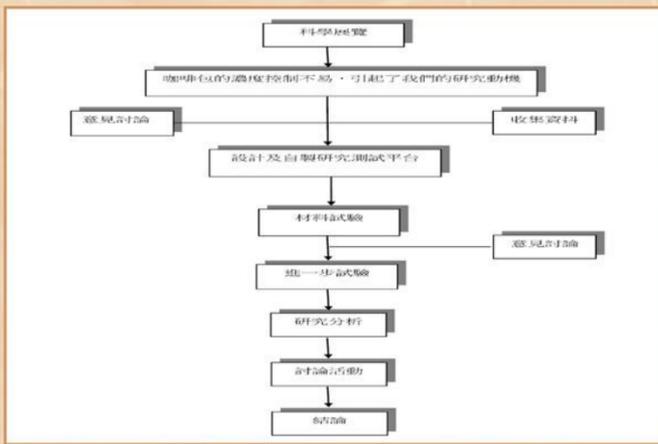


圖2.1 研究流程架構

參、文獻探討

以「咖啡」、「濃度」、「測定法」為關鍵字，蒐尋較為相關的文獻僅四篇，而單以咖啡濃度為研究主軸幾乎沒有。經討論後確立研究方向，並與我們實際研究比較，得知我們率先利用光敏電阻反應電壓值達成自製咖啡濃度控制器的可行性應用。

來源	中華民國第56屆中小學科學展覽會【五】	中華民國第61屆中小學科學展覽會【六】	中華民國第55屆中小學科學展覽會【七】	中華民國第62屆中小學科學展覽會【八】	本研究
主題	咖啡大戰，「原」力覺醒-探討咖啡中的綠原酸	UV-LED紫外線殺菌之抗紫外線效果研究	「啡」常手段拉LV-咖啡液與咖啡之化學成分，健康美味加分	咖啡果糖與咖啡果糖之化學成分，健康美味加分	咖啡濃度的密碼
研究目的	探討不同的萃取方式，不同濃度的咖啡，不同的反應時間及不同烘培程度的咖啡對UV-LED紫外線殺菌的影響。	利用管性層析法，咖啡渣為原料，以不同極性有機溶劑，不同比例沖提，分離出最佳抗紫外線效果化合物。	探討咖啡液萃取方式，其UV-LED自由基清除能力、換熱能力、綠原酸及咖啡因含量。	咖啡果糖與咖啡果糖之化學成分，健康美味加分	探究咖啡在不同的濃度，對pH、電導度、水質計、光敏電阻反應電壓值的影響與變化，依據這些數據，可以提供資訊來設定機器程式，創造出一個咖啡濃度計，讓我們往後想喝咖啡時，能自動測量一定的濃度並提出咖啡包同時發聲以提醒人來拿取。
研究方法	透過萃取方式、溶劑、不同之萃取濃度及反應時間等變因，以實驗證明不同烘培程度的咖啡對UV-LED紫外線殺菌的影響。	咖啡渣為原料，管性層析法分離咖啡渣萃取物，丙酮、丙酮：乙醇=6：4、丙酮：乙醇=4：6、乙醇四種比例依次沖提，並分別測定其UV-LED紫外線殺菌率，再以此光譜圖分析其紫外線能力。	比較不同濃度、不同沖提時間、烘乾方法、烘乾後咖啡果糖皮放寬天數，對UV-LED自由基清除能力、換熱能力、綠原酸及咖啡因含量。	探討不同濃度、不同沖提時間、烘乾方法、烘乾後咖啡果糖皮放寬天數，對UV-LED自由基清除能力、換熱能力、綠原酸及咖啡因含量的影響。	(1)探討咖啡水溶液的色紙分析法、酸鹼pH值、電導度值、光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。(2)利用光敏電阻反應電壓值達成自製咖啡濃度控制器的應用。

表3.1 近年咖啡相關作品

二、重量(質量)百分濃度(質量分數, m/m)：【十】
重量(質量)百分濃度最常用。指每100克的溶液中所含溶質克數。
質量百分濃度= (溶質質量(g) / 溶液質量(g)) × 100% = 溶質質量(g) / (溶質質量(g) + 溶劑質量(g)) × 100%

三、pH值：【十一】
是指氫離子濃度指數，也就是一般所說的「酸鹼值」是溶液中氫離子活度的一種標準，也就是溶液酸鹼程度的衡量標準，通常水溫在25°C左右的情況，pH小於7的時候溶液呈酸性，pH大於7的時候溶液呈鹼性，所以當pH等於7的時候，我們稱之為中性。

四、電導度 (Electrical conductivity, EC)：【十二】
表示水傳導電流能力，導電度與水中離子總濃度、移動性、價數、相對濃度及水溫等有關。通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可電離，因此導電度也可表示水中總溶解固體的多寡。導電度太高對灌溉有不良的影響，因此導電度為灌溉水質之重要指標項目之一。導電度之量測乃以電流通過長1cm、截面積1cm²之液柱時測得電阻之倒數，因此其單位多以 mho/cm 表示。

五、總溶解固體 (Total dissolved solids, TDS)：【十三】
在水中溶解的固體物質總量(包括溶解性碳酸氫離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉與鉀等；揮發及非揮發性固體)，可作為水質檢測依據。其濃度會影響飲用水之可口度。測量單位為毫克/升 (mg/L) 或 (PPM)。

六、光敏電阻 (Photoresistor)：【十四】
又稱光電阻、光導體、光導管，是利用光電導效應的一種特殊的電阻，它的電阻和入射光的強弱有直接關係。光強度增加，則電阻減小，反應電壓會增加；光強度減小，則電阻增大，反應電壓會減小。

名詞解釋

一、咖啡 (coffee)：【九】
指經過烘焙過程的咖啡豆(咖啡屬植物的種子)所製作沖泡的飲料。咖啡是人類社會流行範圍最為廣泛的飲料之一，也是重要經濟作物。咖啡樹原產於非洲亞熱帶地區，以及亞洲南部的一些島嶼。那些咖啡樹從非洲出口至世界各國，現時那些咖啡樹種植遍布超過70個國家，主要在美洲、東南亞、印度等赤道地區。咖啡普遍分為兩種：備受推崇的小果咖啡(阿拉比卡)及顆粒較粗和酸味較低而苦味較濃的中果咖啡(羅布斯塔)。咖啡中咖啡因對人體有刺激的作用，人們在學習、閱讀和思考等腦力活動時經常用來提神。大部分的研究建議，適度飲用咖啡是有益的，甚或有利於健康的成年人。



肆、研究設備及器材

一、研究設備



表4.1 研究設備

編號	設備名稱	數量	單位	備註
1	酸鹼度計 (pH計 XEZDO, PH5011A, pH值精度0.01)	1	台	圖4.1
2	電導度計 (EZDO, PH5011A, 精度10us/cm)	1	台	圖4.1
3	數位 TDS 水質檢測計 (總溶解固體濃度計) (SEATTOOLS, TDS-3, 精度 256PPM)	1	台	圖4.1
4	光照度 (LUTRON LM-8000A) -4 合 1	1	台	圖4.1
5	數位電表 (Pro' sKit, MT-1280)	1	台	圖4.1
6	精密秤 (2000, 500g, 精度0.01g)	1	台	圖4.1
7	游標尺 (Mitutoyo ; 精密度 0.02mm)	1	支	圖4.1
8	電源供應器 (DC 0-12V)	1	台	圖4.1
9	數位溫度計 (TP-101, -50~+300度 C, 精度 0.1度 C)	1	支	圖4.1
10	美工刀	1	支	圖4.1
11	剪刀	1	把	圖4.1
12	燒杯	1	支	圖4.1
13	試管	1	支	圖4.1
14	卷尺	1	把	圖4.1
12	直尺	1	把	圖4.1
15	熱熔槍	1	盒	圖4.1
16	Webduino 模組、感測晶片及線路	2	組	圖4.1
17	發光二極體 LED (透紅、透白)	4	顆	圖4.1
18	智高儀木組	1	組	圖4.1
19	筆記型電腦	1	台	圖4.1
20	數位照相機	1	台	

二、研究材料

表4.2 研究材料

編號	材料名稱	數量	單位	備註
1	NESCAFE 雀巢經典醇品咖啡 (200g)	2	瓶	圖4.2
2	gold kilii 金麒麟 袋裝研磨黑咖啡(浸泡式茶包)	4	包	圖4.2



圖4.2 NESCAFE 雀巢經典醇品咖啡 (200g)



圖4.3 gold kilii 金麒麟 袋裝研磨黑咖啡(浸泡式茶包)

伍、研究過程與方法

【材料分析】比較即溶咖啡粉與研磨咖啡粉之差異

- 利用近照比對雀巢經典醇品咖啡萃取粉、金麒麟研磨咖啡粉的細粒大小。
- 取0.5g萃取粉及研磨咖啡粉，分別加入50g的飲用水，使萃取粉溶解、研磨咖啡粉釋出濃度，以比對顏色及透明度，並記錄。

【實驗一】研究咖啡水溶液的色紙分析法與濃度的關係。

- 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在100g室溫飲用水中。
- 將測試用白試紙放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中(0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%) 並靜置10秒後取出。
- 分別比較取出白紙上殘留的不同濃度的咖啡色濃度，並記錄。

【實驗二】研究咖啡水溶液的酸鹼pH值與濃度的關係。

- 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在100g室溫飲用水中。
- 將酸鹼pH計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中(0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%)，穩定後讀取酸鹼pH值，並記錄。
- 比較酸鹼pH值與濃度的關係。

【實驗三】研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。

- 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在100g室溫飲用水中。
- 將電導度計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中(0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%)，穩定後讀取電導度值，並記錄。
- 比較電導度值與濃度的關係。

【實驗四】研究咖啡水溶液的總溶解固體TDS值與濃度的關係。

- 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在100g室溫飲用水中。
- 將水質檢測TDS計，放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中(0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%)，穩定後讀取TDS值，並記錄。
- 比較TDS值與濃度的關係。

【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

- 取雀巢經典醇品咖啡萃取粉0.2、0.3、0.5、1、1.25、1.5、1.75、2、2.5、3、5、7、9、18g，分別溶解在100g室溫飲用水中。
- 將自行設計及架設的光敏電阻測試棒(含發光二極體LED)及Webduino控制晶片組，放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中(0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%)。
- 變距光敏電阻：改變光敏電阻與發光二極體LED之間的間距(0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10cm)，穩定後讀取光敏電阻反應電壓值。
- 由(3)結果取最易反應出電壓值的光敏電阻與LED間的間距(判定為0.5cm)，作為以下固定測棒的光與接收間距(定距光敏電阻)。
- 定距光敏電阻：取雀巢經典醇品咖啡萃取粉3g，分別溶解在10、20、30、40、50、100、150、200、240、300、500、700、1000g室溫飲用水中。將定距光敏電阻測棒分別放入不同濃度咖啡中，穩定後讀取光敏電阻反應電壓值。
- 比較光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

【實驗六】研究咖啡水溶液的溫度與TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。

- 依「原廠建議食用濃度」1.32%前後濃度規畫，濃度分別取0.5、1.5g雀巢經典醇品咖啡萃取粉，溶解在50g飲用水中。(濃度約0.99、2.913%)
- 利用微波爐加熱，取得低溫、中溫、高溫的咖啡水溶液。
- 分別利用TDS計、定距光敏電阻測棒，測試不同濃度及溫度的咖啡水溶液，並記錄。
- 比較TDS計、定距光敏電阻測棒與溫度的關係。

【實驗七】研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校STEAM課程-浸泡式茶包咖啡為例)

(1)藉由我們學校STEAM課程知識，利用定距光敏電阻測棒、Webduino控制晶片組，設計及自製咖啡濃度控制器。
(2)以「浸泡式茶包」咖啡為例，探討咖啡濃度控制器的可行性。



圖5.2 咖啡濃度調配情形

圖5.3 酸鹼pH計測量情形

圖5.4 數位溫度計測量情形



圖5.5 Webduino、光敏電阻硬體架設及程式編寫圖5.6 小組討論情形

圖5.7 說明書文字電腦書打情形

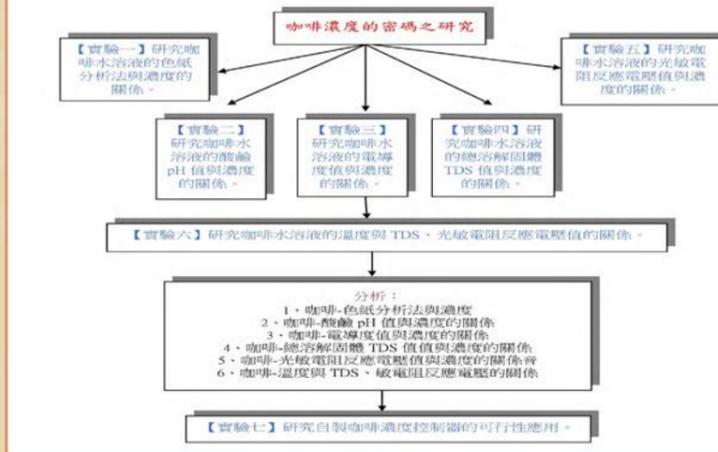


圖5.1 研究流程

陸、研究結果

【實驗二】研究咖啡水溶液的酸鹼pH值與濃度的關係。

A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%) B/(A+B)*100%	pH				水溫(度C)
			1次	2次	3次	平均	
100	0	0.000	6.67	6.64	6.63	6.65	22.3
100	0.2	0.1996	5.7	5.5	5.5	5.57	21.8
100	0.3	0.299	5.5	5.3	5.3	5.37	22.3
100	0.5	0.498	5.2	5.1	5.1	5.13	22.2
100	1	0.990	5	5	4.9	4.97	22
100	1.25	1.235	5	4.9	4.9	4.93	21.6
100	1.5	1.478	4.6	4.59	4.57	4.59	20.1
100	1.75	1.720	4.53	4.54	4.52	4.53	19.3
100	2	1.961	4.72	4.7	4.68	4.70	22.3
100	2.5	2.439	4.48	4.45	4.46	4.46	22
100	3	2.913	4.41	4.41	4.41	4.41	21.6
100	5	4.762	4.48	4.47	4.46	4.47	21
100	7	6.542	4.54	4.52	4.52	4.53	19.4
100	9	8.257	4.53	4.52	4.51	4.52	21.1
100	18	15.254	4.58	4.55	4.55	4.56	20.6

【實驗三】研究咖啡水溶液的電導度值與濃度的關係。(水溫21.3度C)

A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%) B/(A+B)*100%	電導度(mho/cm)			
			1次	2次	3次	平均
100	0	0.000	6.67	6.64	6.63	6.65
100	0.2	0.200	18	18	20	19
100	0.3	0.299	28	28	28	28
100	0.5	0.498	54	54	54	54
100	1	0.990	98	95	91	95
100	1.25	1.235	105	100	112	106
100	1.5	1.478	120	114	112	115
100	1.75	1.720	161	155	161	159
100	2	1.961	186	201	198	195
100	2.5	2.439	195	227	226	216
100	3	2.913	270	260	257	262
100	5	4.762	392	396	398	395
100	7	6.542	423	480	479	461
100	9	8.257	582	587	573	581
100	18	15.254	890	883	886	886

【實驗四】研究咖啡水溶液的總溶解固體TDS值與濃度的關係。(水溫21.3度C)

A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%) B/(A+B)*100%	TDS(PPM)			
			1次	2次	3次	平均
100	0	0.000	18	13	13	15
100	0.2	0.200	125	125	125	125
100	0.3	0.299	204	196	196	199
100	0.5	0.498	209	209	209	209
100	1	0.990	408	428	498	445
100	1.25	1.235	589	572	572	578
100	1.5	1.478	673	647	720	680
100	1.75	1.720	802	829	829	820
100	2	1.961	931	931	931	931
100	2.5	2.439	990	990	990	990
100	3	2.913	1530	1320	1320	1390
100	5	4.762	2060	2020	2020	2033
100	7	6.542	2570	2570	2570	2570
100	9	8.257	2800	2800	2800	2800
100	18	15.254	2970	2800	2800	2857

【實驗六】研究咖啡水溶液的溫度與TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。

A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%) B/(A+B)*100%	水溫(度C)	TDS(PPM)			
				1次	2次	3次	平均
50	0.5	0.99	15.3	332	332	332	332
50	0.5	0.99	35.1	589	589	589	589
50	0.5	0.99	46	720	720	720	720
50	1.5	2.91	23.1	1190	1190	1190	1190
50	1.5	2.91	33.1	1700	1700	1700	1700
50	1.5	2.91	45.3	2060	2060	2060	2060

A水(g)	B咖啡(g)	濃度(%) B/(A+B)*100%	水溫(度C)	光敏電壓(V)			
				1次	2次	3次	平均
50	0.5	0.99	19.8	0.4068	0.4077	0.4082	0.4076
50	0.5	0.99	30.7	0.3922	0.3919	0.3913	0.3918
50	0.5	0.99	46	0.365	0.37	0.374	0.3697
50	1.5	2.91	10	0.3002	0.3004	0.2998	0.3001
50	1.5	2.91	22.2	0.2835	0.2831	0.2839	0.2835
50	1.5	2.91	45.3	0.2132	0.2135	0.2128	0.2132

【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

LED光色(供應電壓3V)	咖啡濃度(%)	光敏電阻與光源距離(cm)	光敏電阻反應電壓值(V)				LED光色(供應電壓3V)	咖啡濃度(%)	光敏電阻與光源距離(cm)	光敏電阻反應電壓值(V)			
			1次	2次	3次	平均				1次	2次	3次	平均
			白	0.2	0	0.847				0.83	0.829	0.835	白
白	0.2	1	0.164	0.16	0.152	0.159	白	1.25	1	0.0978	0.0997	0.0978	0.0984
白	0.2	2	0.094	0.085	0.085	0.088	白	1.25	2	0.087	0.0831	0.087	0.0857
白	0.2	3	0.064	0.062	0.063	0.063	白	1.25	3	0.0832	0.0831	0.0831	0.0831
白	0.2	4	0.049	0.049	0.048	0.049	白	1.25	4	0.0836	0.0802	0.0821	0.0820
白	0.2	5	0.037	0.036	0.037	0.037	白	1.25	5	0.0831	0.0841	0.0841	0.0838
白	0.2	6	0.025	0.026	0.024	0.025	白	1.25	6	0.0772	0.0782	0.0762	0.0772
白	0.2	7	0.013	0.013	0.014	0.013	白	1.25	7	0.0733	0.0704	0.0723	0.0720
白	0.2	8	0.008	0.008	0.008	0.008	白	1.25	8	0.0762	0.0772	0.0772	0.0769
白	0.2	9	0.004	0.003	0.003	0.003	白	1.25	9	0.0762	0.0762	0.7214	0.2913
白	0.2	10	0.003	0.002	0.003	0.003	白	1.25	10	-	-	-	-

LED光色(供應電壓3V)	測距(cm)	B咖啡(g)	A水(g)	濃度(%) B/(A+B)*100%	光敏電阻反應電壓值(V)			
					1次	2次	3次	平均
白	0.5	3	10	23.08	0.0614	0.0665	0.0626	0.0635
白	0.5	3	20	13.04	0.0701	0.0763	0.0753	0.0739
白	0.5	3	30	9.09	0.0781	0.081	0.0807	0.0799
白	0.5	3	40	6.98	0.0821	0.0812	0.0848	0.0827
白	0.5	3	50	5.66	0.0911	0.0856	0.0887	0.0885
白	0.5	3	100	2.91	0.1672	0.1662	0.1652	0.1662
白	0.5	3	150	1.96	0.2141	0.2131	0.2131	0.2134
白	0.5	3	200	1.48	0.2766	0.2767	0.2747	0.2760
白	0.5	3	240	1.23	0.3353	0.3314	0.3314	0.3327
白	0.5	3	300	0.99	0.3685	0.3724	0.3656	0.3688
白	0.5	3	500	0.60	0.4936	0.4933	0.4956	0.4942
白	0.5	3	700	0.43	0.5631	0.5693	0.5611	0.5645
白	0.5	3	1000	0.30	0.5987	0.6011	0.6012	0.6003
白	0.5	0	10	0.00	0.6716	0.6608	0.6657	0.6660

【實驗七】研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(水溫22.2度C)

預計光敏電壓(V)	預計「浸泡式茶包」咖啡濃度(%)	全重(水+咖+瓶)(g)	(咖+瓶)重(g)	瓶重(g)	A水重(g)	B咖啡粉重(g)	實測「浸泡式茶包」咖啡濃度(%)	濃度正確率(%)
0.50	0.50	1次	88.48	81.75	81.72	6.73	0.03	實測咖啡濃度 / 預計咖啡濃度 *100%
		2次	88.5	81.77	81.73	6.73	0.04	
		3次	88.5	81.75	81.73	6.75	0.02	
		平均	88.49	81.76	81.73	6.74	0.03	
0.32	1.32	1次	227.76	170.41	169.71	57.35	0.7	實測咖啡濃度 / 預計咖啡濃度 *100%
		2次	227.77	170.43	169.71	57.34	0.72	
		3次	227.77	170.42	169.72	57.35	0.7	
		平均	227.77	170.42	169.71	57.35	0.71	

柒、討論

【材料分析】比較即溶咖啡粉與研磨咖啡粉之差異

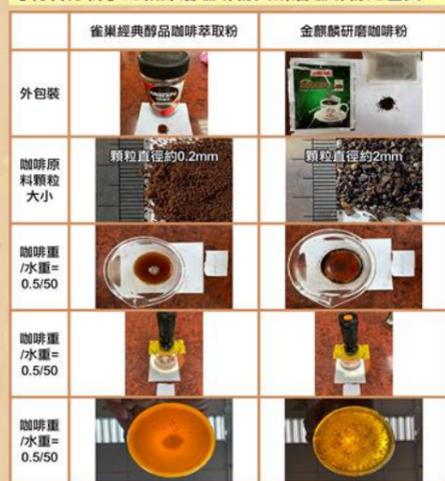


圖7.1 測試用白試紙放入情形

<方法>
將測試用白試紙放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中(0、0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%)並靜置10秒後取出。分別比較取出白試紙上殘留的不同濃度的咖啡色濃度，如下所示。



圖7.2 不同濃度的咖啡水溶液-色紙分析情形(0、0.2、0.299、0.498、0.99、1.235、1.478、1.720、1.961、2.439、2.913、4.762、6.542、8.257、15.254%)

<結果>
1. 測試紙上的咖啡殘留色由淺到深(水100g)：咖啡重0.2 < 0.3 < 0.5 < 1 < 0.25 < 1.5 < 1.75 < 2 < 2.5 < 3 < 5 < 7 < 9 < 18g。
2. 咖啡濃度越高，測試紙上的殘留咖啡色越深。

<方法> 利用近照比對雀巢經典醇品咖啡萃取粉、金麒麟研磨咖啡粉的細粒大小。取0.5g萃取粉及研磨咖啡粉，分別加入50g的飲用水，使萃取粉溶解、研磨咖啡粉釋出濃度，以比對顏色及透明度，如左所示。

<結果>
1. 咖啡粉顆粒大小：雀巢經典醇品咖啡(直徑約0.3mm) < 金麒麟研磨咖啡(直徑約2mm)。
2. 溶解度：雀巢經典醇品咖啡 > 金麒麟研磨咖啡。
3. 溶解速度：雀巢經典醇品咖啡 > 金麒麟研磨咖啡。
4. 沖泡後顏色：雀巢經典醇品咖啡能完全溶解為較深棕色；金麒麟研磨咖啡不能溶解但可釋出濃度，為較淺棕色。
5. 沖泡後透明度：雀巢經典醇品咖啡 < 金麒麟研磨咖啡。

<發現>
溶解速度：雀巢經典醇品咖啡 > 金麒麟研磨咖啡。沖泡後的顏色皆為咖啡色，雀巢經典醇品咖啡能完全溶解為較深棕色，金麒麟研磨咖啡不能溶解但可釋出濃度為較淺棕色。

<探究分析>
測試紙的色高度最上端，在高濃度時會出現一橫條的深色咖啡堆積。我們推論這時的咖啡濃度非常高，已經出現不能再溶解的情況，所以因咖啡粉就會在測試紙上因為毛細現象而隨水流動到最前端，最後堆積下來。所以我們認為這時就可間接認為咖啡可能達到飽和狀態。

<探究分析>
測試紙的色高度最上端，在高濃度時會出現一橫條的深色咖啡堆積。我們推論這時的咖啡濃度非常高，已經出現不能再溶解的情況，所以因咖啡粉就會在測試紙上因為毛細現象而隨水流動到最前端，最後堆積下來。所以我們認為這時就可間接認為咖啡可能達到飽和狀態。

【實驗二】研究咖啡水溶液的酸鹼pH值與濃度的關係。

<方法>
將酸鹼pH計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中並讀取，繪製出酸鹼pH值-重量百分濃度關係圖，如下所示。

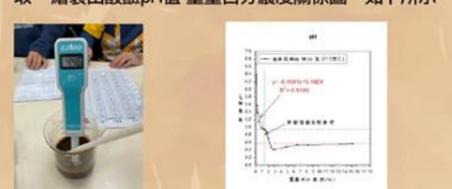


圖7.3 酸鹼pH計測量情形

圖7.4 酸鹼pH值-重量百分濃度之關係圖

<結果>
1. 咖啡溶於水時程弱酸性。
2. 平均趨勢：酸鹼pH值與咖啡濃度呈負相關性。濃度越高，pH值越低。
3. 雀巢經典咖啡pH值有最小值為4.4(濃度=2.6%時)。濃度在0%~2.6%時，pH值呈現下降趨勢(約下降酸度的33.8%)。初期pH值與咖啡濃度為負相關後趨向於定值(約4.57)。

4. 低濃度咖啡時，酸鹼pH值變化較大；高濃度咖啡時較不易變化(濃度6.3~15.1)。
5. 原廠建議咖啡食用濃度為1.32%，pH值為4.94。
6. 總共有三個轉折點(第二個往後pH值不會再下降)。
7. 酸鹼pH值<4.57時，pH值會趨向於定值，但不易判別濃度。

<發現>
咖啡溶於水時

【實驗四】研究咖啡水溶液的總溶解固體TDS值與濃度的關係。

<方法>

水質檢測TDS計放入不同重量百分濃度的咖啡水溶液中並讀取，繪製TDS值-重量百分濃度關係圖，如右圖所示。



圖7.7數位TDS水質檢測計(總溶解固體)量測情形

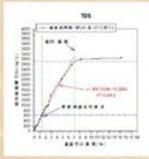


圖7.8總溶解固體值-重量百分濃度之關係圖

<結果>

- 1.水質TDS值與咖啡濃度呈正相關性。濃度越高，TDS值越高。
- 2.咖啡濃度為7.1%時TDS值有轉折點(TDS=2750 PPM)，濃度>7.1%時TDS值趨於平緩。
- 3.設咖啡濃度15.3%為100%，咖啡濃度在3%時TDS值為49.1%，咖啡濃度在7.2%時TDS值為96.5%。
- 4.平均趨勢咖啡濃度增加1%，TDS值上升263 PPM (mg/L)。
- 5.咖啡濃度<7.1%，咖啡濃度增加1%，TDS值上升392 PPM (mg/L)。
- 6.原廠建議咖啡食用濃度為1.32%，TDS為600 PPM (mg/L)。

<發現>

水質TDS值與咖啡濃度呈正相關性。咖啡濃度為7.1%時TDS值有轉折點(TDS=2750 PPM)。咖啡濃度<7.1%，咖啡濃度增加1%，TDS值上升392 PPM (mg/L)。原廠建議咖啡食用濃度，為1.32%TDS為600 PPM (mg/L)。

<探究分析>

由上結果，TDS值在量測不同濃度時有良好的反應性及穩定性，濃度>7.1%時TDS值趨於平緩，所以我們認為濃度=7.1% (TDS=2750 PPM)，就是此咖啡的飽和濃度。為何TDS值趨於平緩，就可能達飽和狀態？我們根據相關文獻得知TDS的工作量測是在量測水中溶解的固體物質總量，咖啡在更高濃度時若不能繼續被水溶解，咖啡就會沉澱即為飽和，這時的可溶解的固體物質總量TDS值就不會再增加而趨於平緩。所以我們認為TDS法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。

【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係。

<方法>

定距光敏電阻(第二代光感測棒)：取雀巢經典醇品咖啡萃取粉3g，分別溶解在10、20、30、40、50、100、150、200、240、300、500、700、1000g室溫飲用開水中。架設Webduino並讀取光敏電阻反應電壓值。比較光敏電阻反應電壓值與濃度的關係，如下所示。

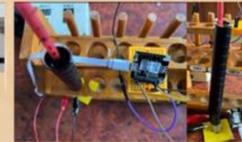
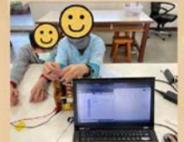


圖7.9運用光度計測量電壓

圖7.10第二代自行設計及製作的光感測棒組立情形

圖7.11第一代光感測棒及Webduino架設、量測情形

圖7.12第二代光感測棒及Webduino架設、量測情形

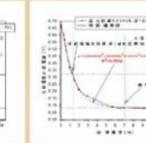
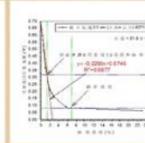
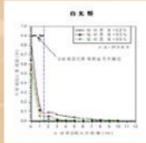


圖7.13光敏電阻反應電壓值-光敏電阻距光源距離之關係圖

圖7.14光敏電阻反應電壓值-咖啡濃度之關係圖

圖7.15光敏電阻反應電壓值-咖啡濃度之關係圖(模擬趨勢圖)

圖7.16Webduino-光敏電阻-程式積木編寫情形

<結果>

- 1.由圖7.13變距光敏電阻(第二代光感測棒)，光敏電阻與發光二極體LED之間間距<1.5cm時，光敏電阻反應電壓值與光敏電阻距光源距離呈平直負相關性。光源距離越近，反應電壓值越高。
- 2.最易判別出電壓值的光敏電阻與LED間間距(我們設定為0.5cm)。
- 3.光敏電阻反應電壓值與咖啡濃度呈負相關性。濃度越高，光敏電阻反應電壓值越低。
- 4.平均趨勢咖啡濃度增加1%，光敏電阻反應電壓值下降0.0227V。
- 5.咖啡濃度<7.0%，咖啡濃度增加1%，光敏電阻反應電壓值下降0.0765V。
- 6.咖啡濃度為7.0%時光敏電阻反應電壓值有轉折點(反應電壓=0.08V)，濃度>7.0%時光敏電阻反應電壓值趨於平緩。
- 7.濃度0%~1.3%→電壓下降52.24%；濃度1.3%~6.3%→電壓下降35.82%。濃度低時電壓變化較大；濃度高電壓變化較小。
- 8.原廠建議咖啡食用濃度為1.32%，光敏電阻反應電壓值為0.32V。

<發現>

光敏電阻反應電壓值與光敏電阻距光源距離呈負相關性，也與咖啡濃度呈負相關性。平均趨勢咖啡濃度增加1%，光敏電阻反應電壓值下降0.0227V。咖啡濃度為7.0%時光敏電阻反應電壓值有轉折點(反應電壓=0.08V)。原廠建議咖啡食用濃度為1.32%，光敏電阻反應電壓值為0.32V。

<探究分析>

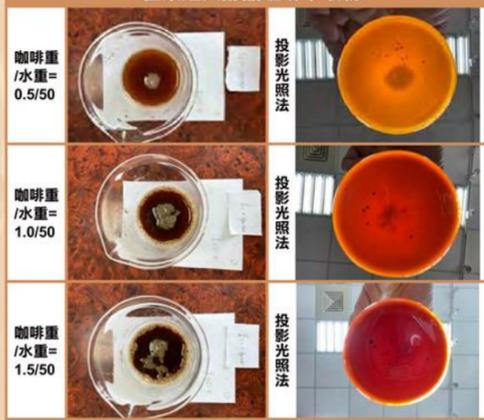
由上結果，光敏電阻反應電壓值在量測不同濃度時有良好的反應性及穩定性，濃度>7.0%時反應電壓值趨於平緩，所以我們認為濃度=7.0% (光敏電阻反應電壓值=0.08V)，就是此咖啡的飽和濃度。為何光敏電阻反應電壓值趨於平緩，就可能達飽和狀態？我們根據相關文獻得知光敏電阻的工作原理是利用光反應改變電阻值，光強度增加，則電阻減小，反應電壓會增加，當咖啡在更高濃度時不能繼續被水溶解，咖啡就會沉澱即為飽和，這時的溶液的透光度就不會再減少而趨於平緩，相對的光敏電阻值及反應電壓也會趨於平緩。所以我們認為光敏電阻反應電壓法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。

【實驗六】研究咖啡水溶液的溫度與TDS、光敏電阻反應電壓值的關係。

<方法>

分別取0.5、1.5g雀巢經典醇品咖啡萃取粉，溶解在50g飲用開水中，取得低溫、中溫、高溫的咖啡水溶液。比較TDS計、定距光敏電阻測棒與溫度的關係，如下所示。

雀巢經典醇品咖啡萃取粉



<結果>

TDS部份

- 1.TDS值與水溫平均趨勢呈正相關性。
- 2.咖啡濃度越高，水溫對TDS的影響會越明顯。
- 3.咖啡濃度0.99%時，每1度C水溫，會讓TDS增加12.8PPM (mg/L)。
- 4.咖啡濃度2.91%時，每1度C水溫，會讓TDS增加39.57PPM (mg/L)。
- 5.最佳飲用溫度58度C，咖啡濃度0.99%時(TDS值=880 PPM)、咖啡濃度2.91%時(TDS值=2580 PPM)。

光敏電阻反應電壓值部份

- 1.光敏電阻反應電壓值與水溫平均趨勢呈負相關性。
- 2.咖啡濃度越高，水溫對光敏電阻反應電壓的影響會越明顯。
- 3.咖啡濃度0.99%時，每1度C水溫，會讓光敏電阻反應電壓減少0.0011V。
- 4.咖啡濃度2.91%時，每1度C水溫，會讓光敏電阻反應電壓減少0.004V。
- 5.最佳飲用溫度58度C，咖啡濃度0.99%時(光敏電阻反應電壓=0.355V)、咖啡濃度2.91%時(光敏電阻反應電壓=0.185V)。

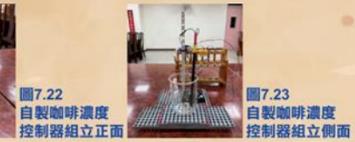
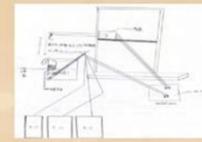
<發現>

溫度對TDS、光敏電阻反應電壓都有影響，其中TDS值與水溫平均趨勢呈正相關性，光敏電阻反應電壓值與水溫平均趨勢呈負相關性。咖啡濃度越高，水溫對TDS及光敏電阻反應電壓的影響會越明顯。最佳飲用溫度58度C，咖啡濃度0.99%時，TDS值=880 PPM，光敏電阻反應電壓=0.355V。

【實驗七】研究自製咖啡濃度控制器的可行性應用。(結合學校STEAM課程)(浸泡式茶包咖啡為例)

<方法>

根據【實驗五】研究咖啡水溶液的光敏電阻反應電壓值與濃度的關係的結果，再利用定距光敏電阻測棒、Webduino控制晶片組，設計及自製咖啡濃度控制器，探討咖啡濃度控制器的可行性，如下所示。



<結果>

- 1.程式積木語法：咖啡濃度控制-機械手臂釣舉咖啡包



2.操作圖：

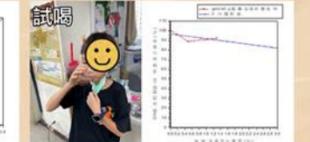
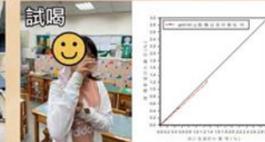


圖7.24咖啡濃度控制器-裝裝研磨咖啡放入情形

圖7.25咖啡濃度控制器-裝裝研磨咖啡到達釣起情形

圖7.26實測濃度-預計濃度之關係圖

- (1) 光敏電阻反應電壓值測的咖啡濃度與預計濃度皆呈正相關性。
- (2) 咖啡實測濃度<=預計濃度。
- (3) 運用光敏電阻反應電壓來測量咖啡濃度，其準確率約為82~97%。
- (4) 平均趨勢咖啡濃度越高，光敏電阻測量咖啡濃度的準確率會越低。

<發現>

以「浸泡式茶包」咖啡為例，光敏電阻反應電壓實際量測的咖啡濃度與預計濃度皆呈正相關性，所以自製咖啡濃度控制器是可行的。而實測咖啡濃度控制器效果佳，其濃度略低於預計濃度，準確率約為82~97%。平均趨勢咖啡濃度越高，準確率會略為降低。

<探究分析>

為何咖啡濃度控制器實測濃度略低於預計濃度，其準確率會低一些，與小組討論後我們推論：研磨咖啡溶解在水中，濃度最高的在咖啡袋附近、濃度最低的在離咖啡袋最遠的地方，而我們的光敏電阻濃度測筆則放在杯正中央，也就是說較接近咖啡袋，因濃度高未完全擴散，光敏電阻附近已達濃度預設值，此時機械手臂就先提取，因此實際濃度會<預設濃度值。所以我們建議可以將光敏電阻濃度測筆放置在咖啡袋與杯壁的中間距離，即可提高濃度準確率。

捌、結論

- 一、色紙分析法：咖啡濃度越高，測試紙上的殘留咖啡色越深。雀巢經典醇品咖啡萃取粉咖啡重量百分濃度=>6.542% (咖啡重：水重=7：100)時，測試紙的色高度最上端，會出現一橫條的深色咖啡堆積。我們認為此時咖啡可能達到飽和狀態。
- 二、酸鹼pH法：咖啡溶於水時程弱酸性，平均趨勢酸鹼pH值與咖啡濃度呈負相關性，原廠建議食用濃度為1.32%，pH值為4.94。咖啡濃度在<2.6%時，可以利用pH值反推咖啡濃度，但在較高濃度時，較難利用pH值反推咖啡濃度的走向。雖然pH值<4.57時，pH值會趨向於定值，但不易判別濃度及飽和狀態。所以我們認為酸鹼pH法尋找咖啡濃度為不全面的測量方法。
- 三、電導度法：電導度值與咖啡濃度呈正相關性，平均趨勢咖啡濃度增加1%，電導度值上升62 mho/cm。原廠建議咖啡食用濃度為1.32%，電導度值為110mho/cm。電導度計在中高水溫時量測電導度值極度不穩定且無法判斷飽和狀態，電導度法尋找咖啡濃度為不太優的測量方法。
- 四、TDS法：水質TDS值與咖啡濃度呈正相關性。咖啡濃度<7.1%時，咖啡濃度增加1%，TDS值上升392 PPM (mg/L)。TDS=2750 PPM (mg/L)達到飽和濃度(7.1%)。原廠建議咖啡食用濃度為1.32%，TDS為600 PPM (mg/L)。我們認為TDS法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。
- 五、光敏電阻反應電壓法：光敏電阻反應電壓值與光敏電阻距光源距離呈負相關性，也與咖啡濃度呈負相關性。平均趨勢咖啡濃度增加1%，光敏電阻反應電壓值下降0.0227V。光敏電阻反應電壓值=0.08V達到飽和濃度(7.0%)。光敏電阻反應電壓值為0.32V達原廠建議咖啡食用濃度1.32%。我們認為光敏電阻反應電壓法尋找咖啡濃度是可行且良好的測量方法。
- 六、溫度與TDS、光敏電阻反應電壓值的關係：溫度對TDS、光敏電阻反應電壓都有影響，其中TDS值與水溫平均趨勢呈正相關性，光敏電阻反應電壓值與水溫平均趨勢呈負相關性。咖啡濃度越高，水溫對TDS及光敏電阻反應電壓的影響會越明顯。最佳飲用溫度58度C、咖啡濃度0.99%時TDS值=880 PPM、光敏電阻反應電壓=0.355V。
- 七、自製咖啡濃度控制器的可行性：以「浸泡式茶包」咖啡為例，光敏電阻反應電壓實際量測的咖啡濃度與預計濃度皆呈正相關性，所以自製咖啡濃度控制器是可行的。而實測咖啡濃度控制器效果佳，其濃度略低於預計濃度，準確率約為82~97%。

玖、參考資料及其他

- 一、劉君祖等人(2002)，小牛頓科學百科4，台北：牛頓出版股份有限公司。
- 二、C. E. Mortimer /著，潘家寅/譯(1987)，大學化學，台北：乾泰圖書。
- 三、劉俊輝、舒福壽(2009年6月初版)，實用電子電路實作應用，台北：台科大圖書股份有限公司。
- 四、葉難(2014)，Arduino輕鬆入門：範例分析與實作設計，新北市：博碩文化。
- 五、樊蓁蓁、楊哲、黃采儀、傅安誼、蔡銘哲 咖啡大戰，「原」力覺醒-探討咖啡中的綠原酸。中華民國第56屆中小學科學展覽會。
- 六、李謙、莊翔羽「啡」常手段抗UV-咖啡渣粗萃物之抗紫外線效果研究。中華民國第61屆中小學科學展覽會。
- 七、楊兆迪、楊華育 一杯想要的咖啡-咖啡發酵，健康美味加分。中華民國第55屆中小學科學展覽會。
- 八、陳昱安、黃有涵、張硯涵 咖啡廢棄物再利用-咖啡果皮之研究。中華民國第62屆中小學科學展覽會。
- 九、維基百科 咖啡 (coffee) <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%92%96%E5%95%A1>
- 十、維基百科 重量(質量)百分濃度(質量分數, m/m) <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%93%E5%BA%A6>
- 十一、pH值 <https://www.more-ml.com/%E5%B0%8F%E6%95%99%E5%AE%A4/ph%E5%80%BC%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC/>
- 十二、全國環境水質監測資訊網 電導度 (Electrical conductivity, EC) https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_48.aspx
- 十三、全國環境水質監測資訊網 總溶解固體 (Total dissolved solids, TDS) https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_07.aspx
- 十四、維基百科 光敏電阻 (Photoresistor) <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E6%95%8F%E7%94%B5%E9%98%BB>