

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

■國中組 □普高組 □技高組 成果報告格式

題目名稱：愈健康，愈多泡！探討氣泡水加咖啡的泡沫產生可能原因與抗氧化關聯

一、摘要

咖啡是常見的日常飲品，除了咖啡香，也兼具健康的抗氧化能力，無意間發現加氣泡水產生的大量泡沫，可以做為初步檢測咖啡的抗氧化力嗎？實驗發現，氣泡水與咖啡以 3：1 比例時泡沫產生顯著(佔比約 34%)，泡沫半衰期約 33 秒；與其它飲料相比，只有咖啡能產生顯著且持久泡沫。以氣泡水機自製的氣泡水能促進大量泡沫生成，此外加味(檸檬酸)的組別也產生大量泡沫，推測與酸性環境有關。比較五款市售咖啡，DPPH 自由基清除率(抗氧化力)介於 83.1%至 87.5%，但泡沫量不一定隨之上升，顯示泡沫形成受其他因素影響。進一步以同品牌不同烘焙程度進行探究，發現淺焙咖啡擁有最高抗氧化力與最多泡沫，支持「愈健康，愈多泡」假設。此外，總酚含量與泡沫量呈正相關，油脂則會明顯抑制泡沫。本研究不僅展現咖啡與氣泡水產泡的多重因素，也為健康飲品開發提供新思考。

二、探究題目與動機



圖 1 氣泡水與咖啡，泡沫與健康？

咖啡是許多人每天最常接觸的飲料。某天在喝咖啡時，將氣泡水加入咖啡，竟然觀察到大量且綿密的泡沫形成，其外觀與啤酒所產生的泡沫極為相似。充滿泡沫的咖啡不僅保留原本香氣，還增添了碳酸飲料的口感，令人覺得新奇並且解渴。查閱相關文獻之後，卻發現較少研究討論這個現象，這引發我們極大的好奇心及許多疑問。

我們首先想知道，這種泡沫是否只有氣泡水加咖啡才會出現？還是其他飲料也能產生相同反應？若只有咖啡能引發這樣的泡沫現象，是否暗示咖啡中含有特殊成分能促進泡沫形成？咖啡本身富含多酚類等抗氧化物質，對人體健康有益。因此，我們提出了一個大膽的假設，這些促進泡沫產生的物質，會不會與咖啡的抗氧化物質有關？是不是存在「愈健康，愈多泡」的現象？因此，本研究將從觀察氣泡水加咖啡的泡沫現象出發，進一步探討不同市售咖啡泡沫生成情形及其抗氧化能力，並分析影響泡沫產生的可能原因。期待藉由探究的旅程，解開咖啡與氣泡水間的隱藏秘密。

三、探究目的與假設

幾乎每日人手一杯的咖啡，竟然與氣泡水間有著令人驚奇的交互作用，除了泡沫產生的探討之外，我們也提出一個有趣的假設，也就是咖啡的營養物質可能與泡沫的產生量有關，無意間的觀察，開啟了我們的探究，以下是我們的目的與假設：

- 一、這些泡沫，只有氣泡水加咖啡有嗎？
- 二、假設愈健康的咖啡，產生愈多的泡沫~ 市售咖啡的泡沫與抗氧化
- 三、為什麼有那麼多泡沫？~ 探討咖啡影響泡沫產生的可能原因



圖 2 氣泡水加咖啡的大量泡沫

四、探究方法與驗證步驟

步驟一：這些泡沫，只有氣泡水加咖啡有嗎？

無意間倒入氣泡水的咖啡，出現令人驚喜的泡沫，引起我們的探究興趣，為了解這是否是氣泡水加咖啡所獨有的現象，我們首先將咖啡所產生的泡沫進行量化，除了量測泡沫產生的高度（高度正比於泡沫量=量筒截面積*高度）外，我們也想了解泡沫能維持多久。

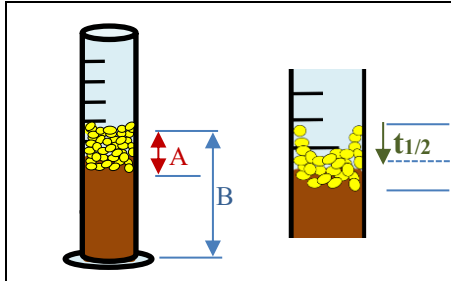


圖 3 測量咖啡的泡沫示意圖

我們將氣泡水加咖啡所產生的泡沫，利用手機錄影後，以 Image J 進行測量：

- 泡沫佔比： $A / B \%$
- 泡沫半衰期($t_{1/2}$)：最高點至消退一半的秒數



圖 4 利用 Image J 進行量測

1. 探討不同比例的氣泡水與咖啡，所產生的泡沫

確認好量化方式後，我們要了解的是氣泡水與咖啡的比例要多少較適當，因此我們將定量的咖啡(10ml)置於量筒，分別以不同比例的氣泡水：咖啡進行測量。(三重覆平均)

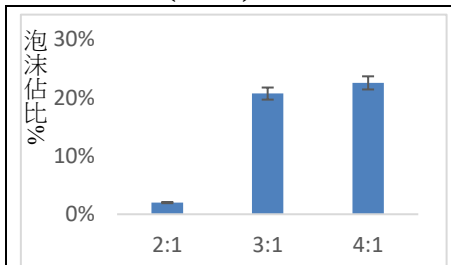


圖 5 氣泡水：咖啡，泡沫佔比

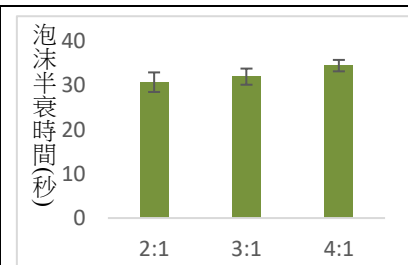


圖 6 氣泡水：咖啡，泡沫半衰($t_{1/2}$)

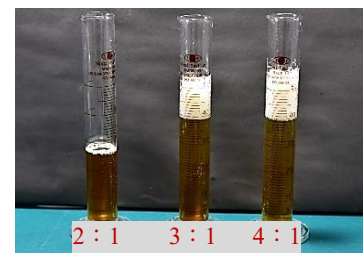


圖 7 不同比例的泡沫比較

在不同比例的結果，氣泡水：咖啡為 3：1 及 4：1 的組別，泡沫佔比的差異不大 ($p > .05$ ，未達顯著差異)，而 2：1 的組別則明顯泡沫較少，因此後續實驗皆以 3：1 的比例進行討論。此外，在泡沫半衰期方面，三組之間的結果相似(介於 30~33 秒之間)。

2. 只有咖啡有嗎？氣泡水加其它的飲料呢？

接著，我們懷疑會不會是氣泡水與其它飲料都會有大量泡沫產生呢？進行以下驗證。

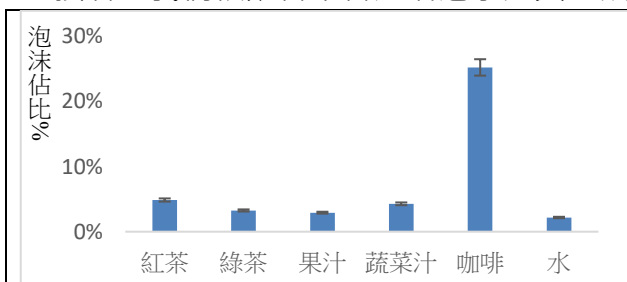


圖 8 氣泡水加不同飲料的泡沫佔比比

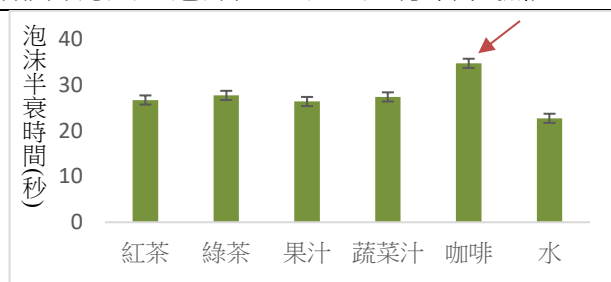


圖 9 氣泡水加不同飲料的泡沫半衰時間($t_{1/2}$)比較

不論是茶類飲料，或是果汁等，加入氣泡水所產生的泡沫，咖啡均顯著較高，且維持較久($t_{1/2}$ 為 34.6 秒)，這顯示咖啡与其它飲料相比，的確具有能促進泡沫大量產生且泡沫持續較久的能力。

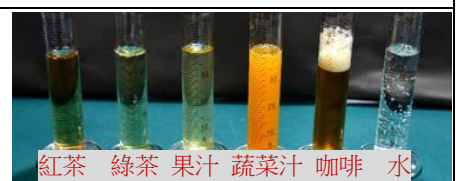


圖 10 氣泡水加不同飲料泡沫半衰($t_{1/2}$)

除了非咖啡的飲料之外，我們想到加了牛奶的拿鐵呢？因此我們分別將牛奶、拿鐵與黑咖啡(圖 11)進行比較，以了解是否只要是有咖啡就會產生大量的泡沫。

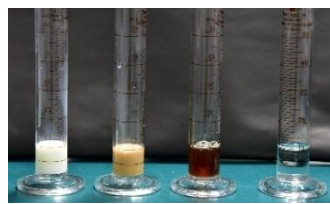


圖 11 牛奶、拿鐵與黑咖啡

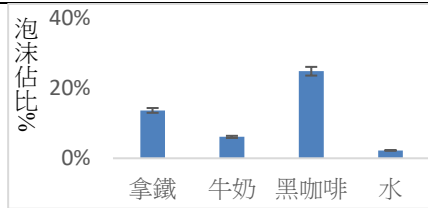


圖 12 拿鐵與黑咖啡的泡沫佔比

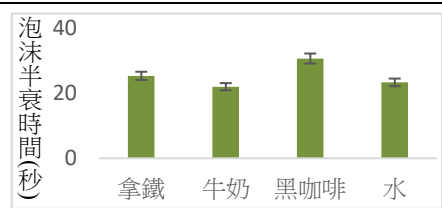


圖 13 拿鐵與黑咖啡的泡沫($t_{1/2}$)

氣泡水加拿鐵，也會產生大量的泡沫(泡沫佔比 14%)，在牛奶組別方面，發現不論是泡沫佔比或是半衰時間，皆顯著較低，而拿鐵部份，均低於黑咖啡，推測與拿鐵含有咖啡比例較低有關。不同飲料結果，也驗證咖啡確實含有能促進氣泡水產生大量泡沫的物質。

3. 不同品牌氣泡水與咖啡的反應

接著，我們仍有疑問，上述的實驗皆以市售的某牌氣泡水為主，其它的氣泡水或是氣泡水機也與咖啡有同樣的泡沫反應嗎？我們選用四種市售氣泡水(A1~A4 及氣泡水機)討論



圖 14 氣泡水機的氣泡水

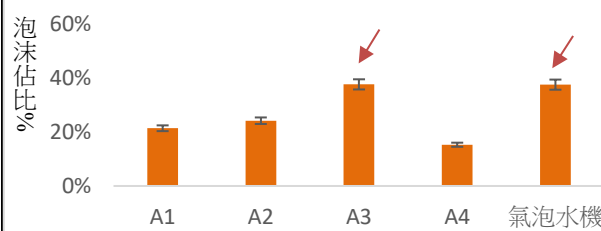


圖 15 不同品牌氣泡水與咖啡的泡沫佔比



圖 16 左至右 A1~氣泡水機

不同市售的氣泡水，與咖啡反應皆有大量泡沫的產生，其中泡沫佔比，A3 及氣泡水機較高，約為 38%左右(箭頭處)，自製氣泡水的碳酸含量較高，產生顯著較多的泡沫量，而 A3 為檸檬口味(加入檸檬酸)的氣泡水，是因為外加檸檬酸的關係嗎？

4. 加味(檸檬酸)，更多泡沫？

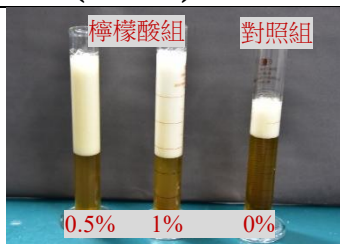


圖 17 加味氣泡水，泡沫更多

為了解 A3 的氣泡水為何有大量的泡沫，我們以市售的氣泡水(A1)將檸檬酸加入咖啡中，模擬市售的檸檬口味，如圖 17。結果發現，加入檸檬酸的組別(0.5%、1%)，所產生的泡沫量皆顯著高於未加的組別，推測可能檸檬酸降低咖啡 pH(約為 5.5→3.1)，加快 CO_2 釋放，使泡沫大量產生。

步驟一的探究中，我們了解氣泡水：咖啡比例為 3：1 時的氣泡效果較好，且由氣泡水機的氣泡水倒入有較佳的泡沫佔比。咖啡具有對人體健康有益的成份，這些抗氧化物質會與泡沫的產生有關嗎，接下來進行討論。

步驟二：假設愈健康咖啡，產生愈多的泡沫？

1. 不同品牌的咖啡，泡沫相同嗎？

為了解我們的假設是否成立，將市售不同品牌熱咖啡進行冷卻，以步驟一的氣泡水條件進行泡沫量的測量(三重覆平均)。

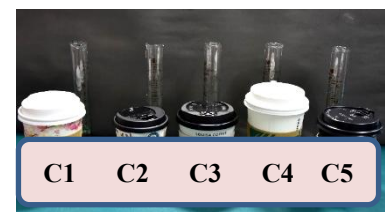


圖 18 不同品牌咖啡的泡沫比較

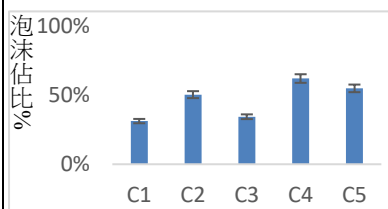


圖 19 不同品牌咖啡的泡沫佔比

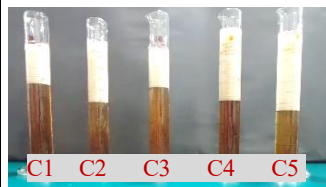


圖 20 不同咖啡的泡沫比較

不同品牌的咖啡，以同一條件進行泡沫比較，可發現的確存在著不同泡沫量的差異，顯示了咖啡中的物質的確影響了泡沫的生成，接下來，我們試著測定抗氧化能力。

2. 不同品牌的咖啡，抗氧化能力相同嗎？

為了解咖啡對人體的健康，我們測量抗氧化物質。查詢文獻得知，可用 DPPH 自由基清除率來進行測量，DPPH 自由基會在遇到抗氧化物(咖啡)後被還原，此時會由原本的紫色變為黃色，再利用光度計測量吸光值，即可得知自由基清除率(抗氧化能力)。

將不同咖啡稀釋 10 倍，取 1ml 加入 2ml 的 DPPH 溶液(0.1mM 溶於甲醇)，反應半小時後測 517nm 之吸光值，並與原液相比，計算 DPPH 清除率，公式如下：

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = 1 - (\text{實驗組吸光值} / \text{對照組(原液)吸光值}) \times 100$$

註：清除率愈大，表示整體抗氧化能力愈好

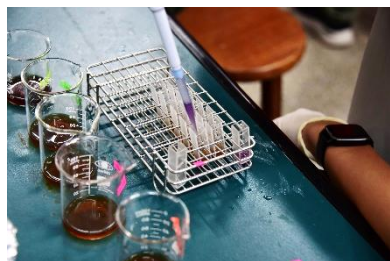


圖 21 將 DPPH 滴進比色管



圖 22 以 OD517nm 測量 OD 值

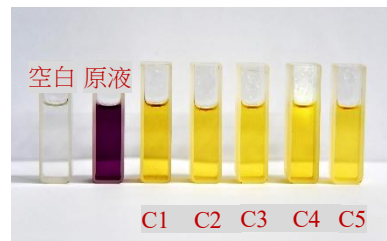


圖 23 不同咖啡清除自由基比較

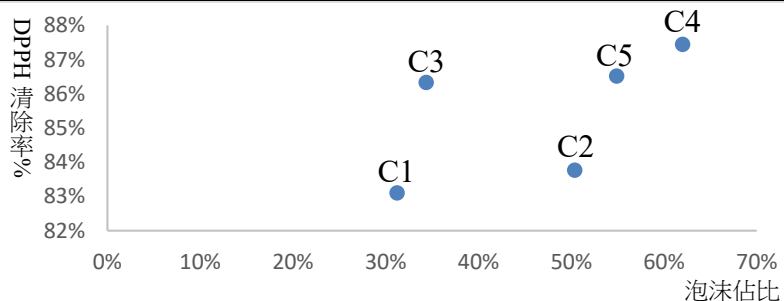


圖 24 不同咖啡的泡沫佔比與抗氧化力(自由基清除率)比較

在 DPPH 自由基清除(抗氧化力)結果上，發現不同品牌的咖啡抗氧化力不同，以 C4 最好 (87.53%)，C1 較弱 (83.12%)，可能與使用的咖啡豆、烘焙及沖泡方式有關。

原先假設抗氧化能力愈好，也就是愈健康的咖啡，加入氣泡水後，預期會產生較明顯的泡沫量，但結果並非完全符合，其中 C2 及 C3，抗氧化與泡沫量並未呈正相關，顯然影響泡沫量還有其它因素。此外，查詢資料發現，各家品牌咖啡的產地、烘焙程度及沖泡方式並不相同。因此，為了釐清這個假設是否正確，選擇控制變因，改以同品牌不同烘焙程度來進行進一步的探究，並且討論影響泡沫的其它因素。

步驟三、為什麼有那麼多的泡沫？

這個部分，我們選定不同烘焙程度(淺、中、深)的同一品牌咖啡豆(圖 24)進行比較，以了解烘焙程度與泡沫是否有所關聯。

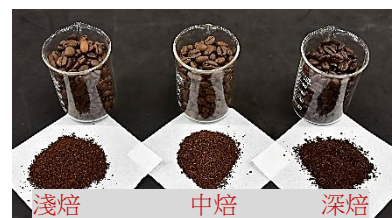


圖 25 不同烘焙程度的咖啡

1. 烘焙的程度會影響泡沫量嗎？

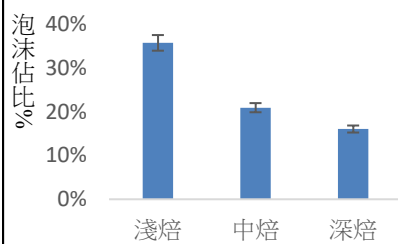


圖 26 不同烘焙程度的泡沫量差異

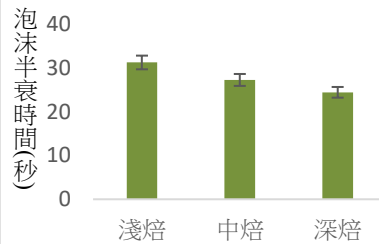


圖 27 不同烘焙程度的泡沫半衰期

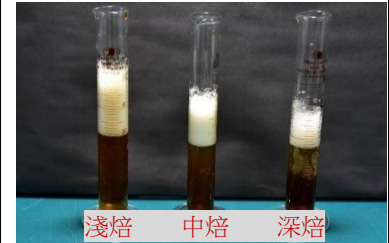


圖 28 不同烘焙程度的泡沫量

結果顯示，不同烘焙程度確實造成了不同泡沫量的差異，這也表示在烘焙的過程中，可能造成了咖啡豆內的物質轉化與改變，使得加入氣泡水後，出現相當程度的差異。在了解烘焙的程度會造成差異後，接下來我們探討三種烘焙咖啡的不同變因(pH 值、油脂與酚類物質)對泡沫的影響，並試著討論烘焙與抗氧化及泡沫關聯。

2. 不同烘焙的 pH 值對泡沫影響



圖 29 pH meter 測量酸鹼值

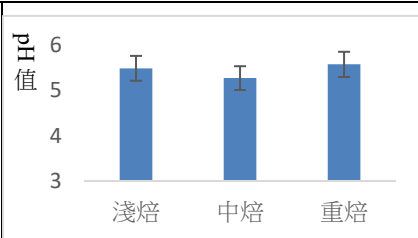


圖 30 不同烘焙程度的酸鹼值比較

pH 值的結果，三種烘焙的咖啡分別為 5.51、5.35、5.55，均未達到顯著差異，因此我們所使用的咖啡豆，酸鹼值對泡沫影響較小。

3. 不同烘焙的油脂，會有影響嗎？

由外觀來看，重烘焙的咖啡有明顯的油脂，這會影響泡沫的量嗎？將咖啡粉加熱水浸泡，並離心後，分為過濾組(去除油脂)及未過濾組(保留油脂)。利用實驗室濾紙(孔徑為 11um)作為過濾組。註：所使用的一般咖啡濾紙孔徑約為 20um。



圖 31 以濾紙濾除大部分油脂

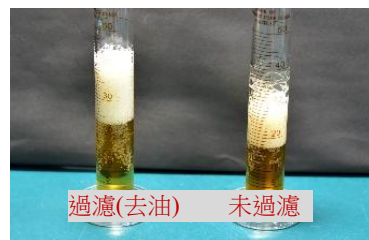


圖 32 淺焙咖啡有無去油的比較

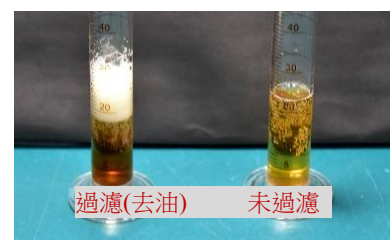


圖 33 深焙有無去油泡沫半衰($t_{1/2}$)

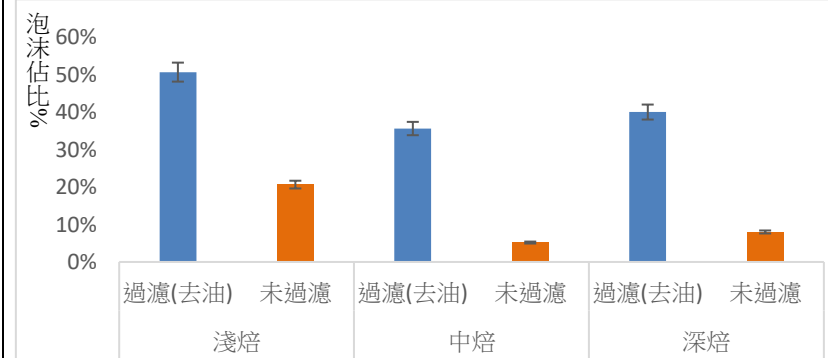


圖 33 不同烘焙程度的咖啡，有無去油對泡沫佔比的影響

結果顯示，**油脂對泡沫產生有很大的影響**，尤其深焙泡沫佔比更下降 81% 左右，淺焙影響(圖 32)較中深焙小，可能是因淺焙的油脂含量原本就較小。過濾的程度與留下的油脂多少與泡沫量有關，油會抑制泡沫的形成。

4. 不同烘焙程度的酚類與 DPPH(抗氧化) · 與泡沫有關嗎？

上個實驗，了解油脂會造成泡沫量的差異，那麼烘焙程度是否會造成咖啡的總酚含量不同呢？另外，我們更想知道的是除了總酚的抗氧化力之外，整體的 DPPH 抗氧化力測定，是否也會有所不同，是否能夠反應出愈健康，愈多泡呢？

量測總酚方面，我們將不同烘焙程度的咖啡磨碎(0.5g)並定量溶於 15ml、70% 甲醇中，靜置離心後取 1ml 上清液與 1ml、0.2% 的三氯化鐵進行反應，測定 560nm 的吸光值。



圖 34 咖啡萃取液加三氯化鐵

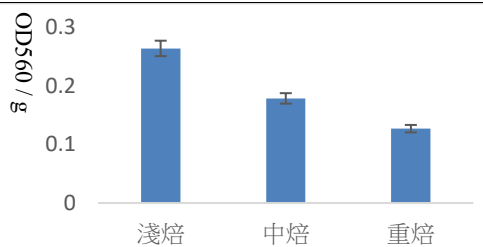


圖 35 不同烘焙程度所含有的總酚差異

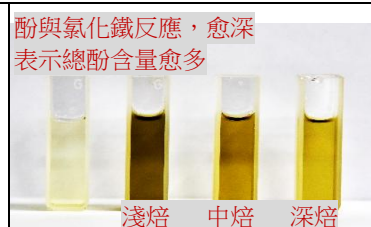


圖 36 不同烘焙的總酚比較

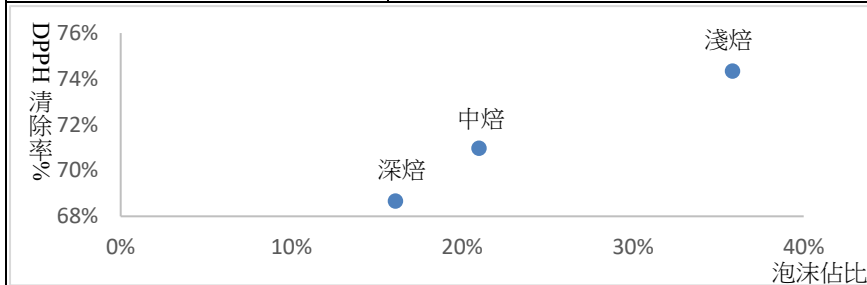


圖 37 不同烘焙程度的咖啡泡沫佔比與抗氧化力(自由基清除率)比較

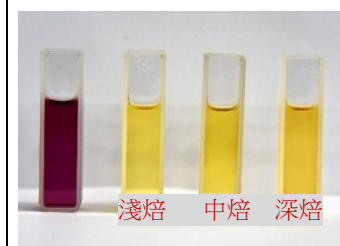


圖 38 不同烘焙清除自由基

總酚方面，淺焙咖啡的酚類被破壞程度較小，因此含量較高，也有較好泡沫量表現，顯示總酚(降低表面張力)含量與泡沫呈正相關。此外，整體的 DPPH 抗氧化力則與酚類結果一致，淺焙的抗氧化力最好，也有最佳的泡沫量，這也表示抗氧化與泡沫量呈正相關。

五、結論與生活應用

偶然發現氣泡水加入咖啡後產生大量泡沫，引發我們的好奇，也開啟了國二充滿咖啡香與泡沫的探究歷程，以下是我們的發現與應用建議：

1. 氣泡水加入咖啡產生的大量泡沫與咖啡本身成份有關，其他飲料則沒有類似現象。
2. 不同比例的氣泡水與咖啡，以 3：1 為最佳比例（泡沫佔比約 34%、半衰期 33 秒）。
3. 市售咖啡抗氧化力與泡沫量不完全呈正相關，顯示還有其它因素影響。
4. 採用相同品牌不同烘焙程度咖啡測試，發現淺焙咖啡泡沫最多、DPPH 測定的抗氧化力與總酚含量皆最高，而深焙則相反，支持「愈健康，愈多泡」的假設。
5. 烘焙程度會改變咖啡的油脂與酚類含量，實驗證實油脂會顯著抑制泡沫，而酚類則因可降低表面張力，反而有助泡沫生成。

透過這次探究，我們了解咖啡與泡沫的可能關聯，除了可用加入氣泡水的泡沫作為初步抗氧化力比較，也可應用於食品科學，也提供同樣具抗氧化力的飲料作為研究參考。

參考資料

1. 咖啡苦味從哪裡來，取自科技大觀園。