

## 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：探討加熱火力強度對咖啡豆一爆時間、烘焙度及密度的影響**

### 一、摘要

本組探討不同加熱火力強度對咖啡豆烘焙過程的影響，特別聚焦於一爆時間、烘焙度變化與密度差異。選用風味穩定且苦味明顯的曼特寧咖啡豆，分成六組進行對照實驗，每組取樣 300 克，以確保熱源分布均勻並提升實驗結果的穩定性與可重複性。實驗設計包含四種不同火力設定，並各進行兩次重複測試，以比較火力變化下的影響。烘焙過程中，統一設定入豆溫度為 200°C，一爆發生後調整火力為 0.2、風力為 40，並持續加熱 90 秒後下豆。實驗中記錄一爆的時間、烘焙前後的重量差以計算失重比，使用油法測量體積進而計算密度，並以切藥器剖半咖啡豆，搭配顯微鏡觀察其內部顏色與結構變化，判斷火力對烘焙均勻性的影響。最終再透過焙度儀測量 Agtron 值，評估烘焙程度，作為火力設定與實驗結果之間關聯的依據。

### 二、探究題目與動機

在日常中，咖啡烘焙需要烘焙師依靠經驗來調整火力，但這種功力不僅需要長時間累積手感，也很容易因為火力控制不當而影響烘焙結果。每次調整火力的過程都可能影響最終的風味，因此烘焙師很難每次都保持同樣的水準。本組發現：若能找到一種高效且穩定品質的烘焙方法，將有助於提高烘焙過程的穩定與效率，且在短時間內達到理想風味。

本研究探討的是不同加熱火力強度，對咖啡豆「第一次爆裂時間」的影響。第一次爆裂是烘焙過程重要的轉折點，這個時間點的長短會影響咖啡豆的成熟狀況，而成熟度又會直接影響風味表現。對於烘焙師來說，掌握好「第一次爆裂」的時間點對於得到理想風味至關重要。因此藉調整火力強度，將更精確地控制這個關鍵時間。

透過此研究，期能找出一種可以在短時間內穩定完成烘焙的方法，提高烘焙效率，以有助於新手或想省時的人，進而為咖啡烘焙領域提供更精準與高效的烘焙方式。

### 三、探究目的與假設

#### (一) 探究目的

本組主要是想了解不同火力強度對咖啡豆在烘焙過程中的影響。我們會觀察一爆出現的時間、咖啡豆的烘焙度、以及烘焙後密度與失重比的變化。透過實驗設計，本組希望建立火力強度與這些變化之間的關係，進一步提供一個更好掌握烘焙參數的方式，不再只是依賴時間和溫度的控制。

#### (二) 探究假設

假設 1：初始火力強度越高，咖啡豆達到第一次爆裂所需時間越短。

假設 2：火力越強導致咖啡豆膨脹越劇烈，最終會使密度下降。

假設 3：高火力 ( 1.0 ) 加速美拉德反應，內部顏色不均與裂縫明顯。

假設 4：火力越強，焙度儀數值下降，表示顏色變深。

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 實驗器材：

咖啡烘豆機、焙度儀、複式顯微鏡、電子秤、切藥器、計時器、咖啡生豆 ( 曼特寧 )、燒杯、量筒

驗證步驟一、曼特寧咖啡生豆，取 300 公克

本組選擇曼特寧咖啡豆，因其風味濃郁且苦味明顯，即便在烘焙過程略微過度，相較於其他品種的咖啡豆，仍能較為穩定地維持風味的平衡。此一特性有助於本組更為精確地觀察加熱強度對咖啡豆第一爆裂時間、顏色變化及失重比等關鍵指標的影響。另一方面，選擇 300 克咖啡豆作為實驗樣本量，是基於其能確保熱源分佈均勻，避免因為量過少而導致熱不均或過度烘焙的情況，並有助於精確控制烘焙過程的溫度與時間，從而提供穩定的實驗條件，確保結果的準確性與可重複性。

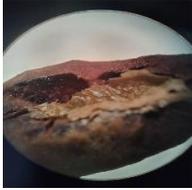
驗證步驟二、咖啡豆內部觀察 / 失重比 / 密度 / 咖啡豆發展百分比

咖啡豆內部觀察：為了更精確地觀察咖啡豆在烘焙過程的變化，本組將烘焙完成的咖啡豆使用切藥器切成兩半，並利用顯微鏡觀察其內部顏色的差異。當火力較強時，咖啡豆的外層迅速加熱，內部水分快速蒸發，可能會產生較大的裂縫，導致內部顏色變深且不均勻，這樣的烘焙過程可能對風味的穩定性和均衡性產生負面影響；而較低火力的加熱過程較為緩慢，內部水分蒸發更為平穩，咖啡豆內部的顏色變化較為均勻，結構較為完整，有助於保持更穩定的焙度，並使風味表現更加均衡。透過顯微鏡觀察內部顏色和結構的變化，本組清楚看到火力強度對咖啡豆的影響，這些差異最終會影響咖啡豆的風味特徵和品質表現。

失重比：在咖啡烘焙的過程，「失重比」是指咖啡豆在烘焙前後，因為水分和揮發性物質的蒸發而失去的重量比例。通常，在咖啡烘焙過程，水分蒸發是主要的原因，且豆子的重量會有所減輕。具體來說，生豆 ( 烘焙前 ) 和烘焙後的咖啡豆在重量上有明顯的差異。失重比可能會因烘焙的程度、烘焙時間和咖啡豆的品種等因素受影響。計算失重比的公式為：

$$\text{失重比} = (\text{烘焙前咖啡豆的重量} - \text{烘焙後咖啡豆的重量}) / \text{烘焙前咖啡豆的重量} \times 100\%$$

表一 咖啡豆內部觀察與失重比之入豆火力對比

咖啡豆內部觀察			
烘焙後咖啡豆的重量			
入豆火力	火力 0.3	火力 0.5	火力 0.7

表二 咖啡豆內部觀察與失重比之入豆火力對比

咖啡豆內部觀察			
烘焙後咖啡豆的重量			
入豆火力	火力 0.7	火力 1.0	火力 1.0

咖啡豆發展百分比 ( DTR, Development Time Ratio )：是咖啡烘焙中一項關鍵指標，用於描述從第一爆 ( First Crack ) 到烘焙結束這段時間所佔整體烘焙時間的比例。這段時間被認為是影響風味發展的重要階段，因為此時咖啡豆內部的化學反應最為活躍。DTR 可幫助烘焙師控制豆子的酸度與甜感。一般而言，DTR 若控制在 20% 至 25% 之間，可達到較為平衡的風味。DTR 的計算公式為：

$$\text{DTR} = \text{發展時間} / \text{總烘焙時間} \times 100\%$$

密度測量：在測量咖啡豆密度的過程中，原本我們是透過將咖啡豆置於燒杯中，再加入水以

填滿豆子間的空隙，藉此推算咖啡豆的體積。然而，由於水的流動性高，容易滲入咖啡豆內部，導致體積計算不準確。為了解決此問題，我們改用流動性較低的油進行測量。油較不易滲透咖啡豆內部，因此能更準確地填充豆子與豆子之間的縫隙，使我們能夠較準確地估算咖啡豆的體積，進而計算其密度。密度的計算公式為：

$$\text{密度} = \text{質量} / \text{體積}$$

表三 咖啡豆密度測量

		
<p>10ml / 7.7g 油 ( 推導油的密度 )</p>	<p>44.8g 咖啡豆 ( 測量咖啡豆的質量 )</p>	<p>將油填滿咖啡豆的縫隙 ( 推導咖啡豆的體積 )</p>

驗證步驟三、烘焙，入豆溫度 200 度，一爆之後火力 40 / 風力 0.2

本組設置入豆溫度為 200 度，以確保咖啡豆能迅速達到所需的熱度，促使均勻加熱。在進行烘焙時，初期風力設定為 30，火力作為實驗操作變因，可根據需要調整。當咖啡豆進入第一爆裂階段後，將風力統一調整為 40，火力設定為 0.2，並維持 90 秒後再進行下豆。這樣的設置能觀察到火力強度對第一次爆裂時間、顏色、密度與失重比的具體影響，並確保實驗過程中變因的控制，從而得到準確的實驗結果。

表三 失重比、密度、愛克壯指數及咖啡豆發展百分比之火力對比

操作數值 組別	入豆火力	入豆風力	第一次爆裂 開始火力	第一次爆裂 開始風力	失重比	愛克壯 指數	密度	咖啡豆發展 百分比
第一次實驗	0.3	30	0.2	40	14.3%	73.5	1.425	17.8%
第二次實驗	0.5	30	0.2	40	15.3%	66.1	1.420	19.3%
第三次實驗	0.7	30	0.2	40	13.1%	63.2	1.487	23.9%
第四次實驗	0.7	30	0.2	40	14.8%	61.2	1.333	24.5%
第五次實驗	1.0	30	0.2	40	13.9%	57.9	1.252	25.4%
第六次實驗	1.0	30	0.2	40	15.7%	55.4	1.347	25.9%

表四 烘焙參數與特性點

操作數值 組別	入豆到一爆		一爆到下豆		入豆溫 °C	一爆溫 °C	一爆 時間	下豆溫 °C	下豆 時間
	火力	風量	火力	風量					
第一次實驗	0.3	30	0.2	40	202.2	194.8	6分57秒	201.2	8分27秒
第二次實驗	0.5	30	0.2	40	204.8	193.5	4分39秒	195.8	6分27秒
第三次實驗	0.7	30	0.2	40	201.0	186.0	4分42秒	197.7	6分26秒
第四次實驗	0.7	30	0.2	40	202.2	192.7	4分42秒	209.7	6分18秒
第五次實驗	1.0	30	0.2	40	200.9	199.8	5分06秒	200.0	6分42秒
第六次實驗	1.0	30	0.2	40	185.7	194.1	4分12秒	212.5	5分39秒

驗證步驟四、焙度儀

焙度儀：其單位為愛克壯指數 ( Agtron )，是利用近紅外線測量咖啡豆表面的光線反射來判斷烘焙度，愛克壯指數越高代表入豆火力越小，愛克壯指數越高則代表入豆火力越大，作為輔助調整烘焙度的工具。

表五 愛克壯指數之火力對比

					
火力 0.3	火力 0.5	火力 0.7	火力 0.7	火力 1.0	火力 1.0

五、結論與生活應用

1. 一爆時間與火力關係：

經過系統性的實驗與分析，本研究探討了烘焙火力強度對咖啡豆第一次爆裂時間、品質損失及內部結構的影響。研究發現，火力強度與爆裂時間呈負相關，使用較高火力會顯著縮短爆裂時間，而較低火力則會延長爆裂時間。

舉例來看，火力 1.0 時爆裂時間為 4 分 12 秒，火力 0.3 時為 4 分 39 秒，而火力 0.5 時甚至需要 5 分 06 秒。

此結果支持假設 1：「初始火力強度越高，咖啡豆達到第一次爆裂所需時間越短」。

2. 品質損失與火力關係：

火力的增強會直接提高品質損失率，尤其在高火力下損失較為明顯。

主要原因在於高火力加速了水分與揮發性物質的逸散，因此影響咖啡豆的整體品質。

3. 密度變化與火力關係：

火力越強，豆體膨脹越劇烈，導致密度普遍下降。

例如火力 1.0 時密度為 1.347 與 1.252，而火力 0.3 時密度則為 1.425。

此結果支持假設 2：「火力越強導致咖啡豆膨脹越劇烈，最終會使密度下降」。

#### 4. 內部結構觀察與火力關係：

使用較高火力烘焙時，透過顯微鏡觀察可見：

內部裂縫較大、色澤分布不均，顯示出高火力下的快速化學反應。

此結果支持假設 3：「高火力 ( 1.0 ) 加速美拉德反應，內部顏色不均與裂縫明顯」。

#### 5. 焙度與外觀顏色變化：

根據愛克扎指數數據，火力越高，焙度儀讀值越低，表示顏色越深。

例如火力 0.3 的焙度值為 73.5，而火力 1.0 則為 55.4。

此結果支持假設 4：「火力越強，焙度儀數值下降，表示顏色變深」。

6. 根據實驗結果，不同火力會影響咖啡的風味。高火力加熱時間短，容易讓咖啡變得偏苦、帶有焦香或煙燻味，果香和酸味會比較不明顯；中火力風味比較平衡，會有堅果或可可的香氣；而低火力加熱比較溫和，能保留比較多的果酸和香氣，喝起來清爽有層次，但整體風味會比較輕柔，不會有很重的烘焙味。

#### 參考資料

林煥然 ( 2019 )。以人工智慧為基礎之即時咖啡 Agron 烘焙度估測技術。國立雲林科技大學電機工程研究所：碩士論文。

丁芝宇 ( 2025 )。探討咖啡豆烘焙之一爆前升溫速率對咖啡品質的影響。國立台灣海洋大學食品科學研究所：碩士論文。