

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組成果報告表單

題目名稱：冷牛奶撞上熱咖啡:探討影響液溫因素

一、摘要：

研究者發現拿鐵咖啡深受上班族的喜愛，然寒冷的冬天，咖啡容易散熱而變冷，故想研究拿鐵的溫度究竟受哪些因素影響。首先探討不同時間點加入室溫保久乳對液溫的影響，結果發現先加入室溫保久乳的拿鐵末溫會高於後加的，接著用冷水代替保久乳做驗證實驗，證明影響液溫主因可由牛頓冷卻定律解釋之。接著討論水量的多寡及蒸發面積對降溫的影響，結果發現：當水的質量越大時，降溫速率越小；當蒸發面積越大，散熱越多，溫度變化也越大，但未成正比關係。

二、探究題目與動機

研究者平日觀察到，許多上班族上班前，總會隨手一杯拿鐵，不但能打起精神，也能讓暖暖的拿鐵來治癒疲累的身心靈，讓研究者不禁思考，拿鐵的溫度究竟會因為什麼因素而變化？在不同時間加入室溫(25°C)牛奶是否影響 10 分鐘後拿鐵末溫？在不同時間加入室溫(25°C)牛奶，10 分鐘內拿鐵液溫變化情形為何？以及用什麼樣的方式，能泡出溫度較高的拿鐵呢？此外，後加室溫牛奶的前五分鐘與後五分鐘的物體的特性常數(k 值)相差不少，其中質量是影響因素之一，因此想進一步探究水量的多少對液體溫度變化的影響為何？最後想進一步探討蒸發作用對液體溫度變化的影響為何？

三、探究目的與假設

(一)研究目的

1. 探討加入室溫牛奶的先後順序對液體溫度的影響。
2. 探討加入室溫水的先後順序對液體溫度的影響。
3. 探討水的質量對液體溫度變化的影響。
4. 探討不同液體蒸發面積對液體溫度變化的影響。

(二)研究假設

1. 先加入室溫牛奶的拿鐵液溫較高。
2. 水的質量越多，水溫下降越慢。
3. 蒸發面積越大，水溫下降越多。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 研究器材與材料

利用家裡現有的材料(圖 1)：咖啡粉、保久乳、溫度計、紙杯、保溫杯、電子秤、夾子、咖啡杯等。









			
咖啡粉一罐	保久乳(全脂·200 mL)	酒精溫度計和夾子	紙杯數個(300 mL)
			
保溫杯一個	電子秤(量至 0.01 克)	電熱水瓶	咖啡杯數個(350 mL)

圖 1 實驗材料及器材說明

(二) 研究設計

測量實驗環境室溫，接著準備固定比例的熱水質量、咖啡粉及保久乳，並將各咖啡的初溫固定，接著在室溫與濕度相同的實驗場所進行實驗，實驗進行的場所是在廚房凹進去的檯面，假設測量環境是處於無風狀態。分別進行四種不同操縱變因的實驗，各種實驗的不同類型變因說明詳見表 1。

表 1 各種實驗的不同類型變因說明

變因類型	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四
操縱變因	不同時間加入室溫保久乳	不同時間加入室溫冷水	不同的水量	不同蒸發面積
控制變因	咖啡杯、溫度計、環境溫度及濕度、無風環境等			
應變變因	拿鐵的液溫	水溫	水溫	水溫

(三) 研究步驟

1. 實驗一：以電子秤稱取約 2.00 克咖啡粉 148.00 克熱水(約 80.0°C)、50.00 克保久乳(25°C)，配製 200.00 克熱拿鐵(咖啡杯無紙套)，實驗步驟如下：

- (1) 確定溫度計準確，並測量室溫。
 - (2) 測量咖啡粉，熱水等實驗材料的質量。
 - (3) 將咖啡杯(未套杯套)裝入保溫杯內，並加入熱水，以防溫度流失。
 - (4) 將咖啡粉倒入熱水，並攪拌 10 圈，使咖啡粉完全溶解。
 - (5) 將杯蓋蓋上，插上並固定溫度計，溫度計皆固定相同位置，測量初溫。
2. 先加入保久

乳：測量咖啡水溶液初溫後，立刻加入室溫(25.0°C)保久乳，迅速蓋上蓋子，測量拿鐵 10 分鐘內的溫度變化，每 30 秒測量並記錄一次。重複 1 與 2 步驟，測量另 2 次溫度變化(同一種共做三次，以求平均值)。

(6) 後加入保久乳：測量咖啡水溶液初溫後，測量咖啡水溶液 5 分鐘內的溫度變化，每 30 秒測量並記錄一次，在 5 分鐘末加入室溫保久乳，迅速蓋上蓋子，測量拿鐵後五分鐘的溫度變化，每 30 秒測量並記錄一次。重複(1)與(5)步驟，測量另 2 次溫度變化(同一種共做三次，以求平均值)。

2. 實驗二：所有步驟同實驗一，僅將 50.00 克保久乳改為 50.00 克冷水(25°C)。

3. 實驗三：為探討不同質量的水對水溫變化的影響，純水的質量分別為 100g、150g、250g、300g 和對照組 200g。實驗流程如下：

(1) 確定溫度計準確無誤差。

(2) 將杯子放上電子秤後歸零，並倒入質量個別為 100g、150g、200g、250g、300g 的水。

(3) 將杯套迅速蓋上，插入溫度計並固定，等待溫度降 80°C 開始測量。

(4) 每 10 秒測量一次，直至測量 10 分後。

(5) 重複步驟 2 到步驟 4，求出另兩次實驗數據 (每個質量各做三次，以求平均值)。

4. 實驗四：為探討不同蒸發面積對水溫變化的影響，蒸發的開口分別為總面積的八分之一、八分之二、八分之三、八分之四。杯子的開口總面積四捨五入後為 41.8 平方公分，因此蒸散的面積為 5.3、10.5、15.7、20.9 (平方公分)。

(1) 確定溫度計準確無誤差。

(2) 將杯子放上電子秤後測量杯子質量，並歸零後再倒入 300g 的純水。

(3) 將杯套迅速蓋上，插入溫度計並固定，等待溫度降 80°C 開始測量。

(4) 每 10 秒測量一次，直至測量 10 分後。

(5) 將杯蓋取下，並測量水加杯子的總質量，扣除杯子質量後得水質量的變化。

(6) 重複步驟 2 到步驟 5，求出另兩次實驗數據 (不同面積各做三次，以求平均值)。

(四) 研究結果與討論

1. 不同時間點加入室溫牛奶之拿鐵咖啡(關係圖如圖 2)：經過十分鐘後，先加入室溫(約 25°C)牛奶的拿鐵由 82.2°C 下降至 60.2°C，共降溫 22.0°C；後加入室溫(約 25°C)牛奶的拿鐵由 81.9°C 下降至 57.3°C，共降溫 24.6°C，實驗結果顯示，不同時間點加入室溫牛奶，會影響拿鐵的末溫，且先加室溫牛奶的拿鐵液溫高出 2.9°C，即使扣除初溫相差的 0.3°C，兩者液溫仍相差 2.6°C。提出產生差異的

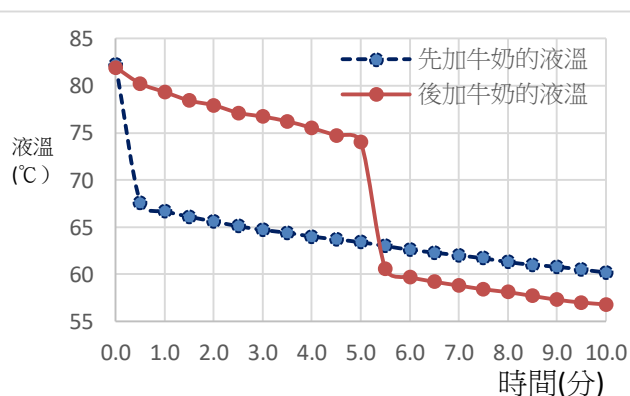
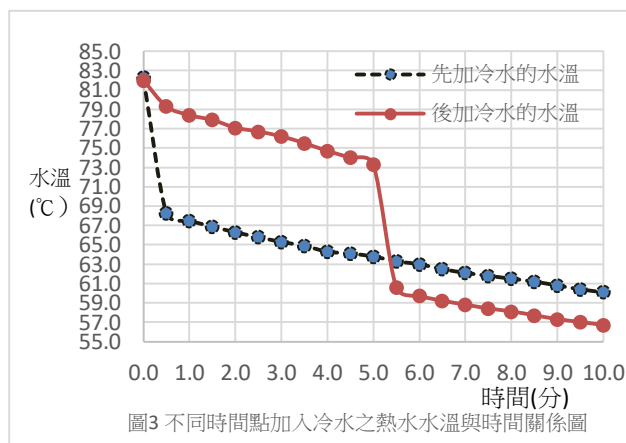


圖2 不同時間加入牛奶之液溫對時間關係圖

可能原因：如牛頓冷卻定律、熱容量(質量與比熱乘積)、蒸發作用或牛奶內的油脂等。根據牛頓冷卻定律關係式 $T = C + (T_0 - C)e^{-kt}$ (維基百科、百度百科)，其中 T 為物體溫度、 C 為環境溫度、 T_0 為物體起始溫度 e 為歐拉常數約 2.718、 k 為物體的特性常數、 t 為冷卻時間。以先加牛奶的 0.5-10 分鐘、後加牛奶的 0-5 分鐘及後加牛奶的 5.5-10 分鐘之拿鐵的初溫減室溫之溫差($T-C$)對時間(t)作圖(因篇幅所限，省略圖)，三者冷卻過程的趨勢線皆符合指數函數，關係式分別為： $y = 42.267e^{-0.019x}$ 、 $y = 56.073e^{-0.027x}$ 、 $y = 39.684e^{-0.021x}$ ，且三者的 k 值分別為 0.019、0.027 及 0.021，顯示三者的物體的特性常數有差異，其中先加牛奶與後加牛奶的後五分鐘， k 值分別為 0.019 與 0.021 相近，可視為相等，表示其物體的性質接近，但兩者與未加牛奶的前五分鐘(k 值 0.027)相差較大，表示兩者與未加牛奶的前五分鐘性質差異較大。物體越高溫時，其同一時間間隔之降溫幅度越大，**實驗一之平均溫度下降速率:先加牛奶(0-0.5 分) > 後加牛奶(5.0-5.5 分)、後加牛奶(0-5.0 分) > 先加牛奶(0.5-10.0 分) > 後加牛奶(5.5-10.0 分)**，實驗結果即支持此項理論。先加入室溫牛奶後，因熱量由熱咖啡傳給牛奶，而使整杯液溫迅速下降，液溫一但下降，之後 9.5 分鐘的溫度下降速率反而減緩，導致 10 分鐘的末溫高於後加牛奶。

2. 不同時間點加入室溫冷水之熱水(關係圖如圖 3)：在實驗二中，先排除熱容量、蒸發作用

或牛奶內的油脂等作用，使用冷水代替室溫牛奶、熱水代替熱咖啡，單純討論溫差對水溫變化的影響，實驗結果與加入室溫牛奶相似，但兩者末溫皆較拿鐵低，表示牛奶或咖啡粉內的某些物質具有保溫效果。經過十分鐘後，先加入室溫(約 25°C)冷水的熱水由 82.3°C 下降至 59.6°C，共降溫 22.7°C；5 分鐘後加入室溫(約 25°C)冷水的熱水由 82.0°C 下降至 56.1°C，共降溫



25.9°C，實驗結果顯示，不同時間點加入室溫冷水，會影響熱水的末溫，且先加室溫冷水的熱水液溫高出 3.5°C，即使扣除初溫相差的 0.3°C，兩者液溫仍相差 3.2°C。因此溶液初溫與室溫的溫度差異，會影響散熱的速率，**平均溫度下降速率:先加冷水(0-0.5 分) > 後加冷水(5.0-5.5 分)、後加冷水(0-5.0 分) > 先加冷水(0.5-10.0 分) > 後加冷水(5.5-10.0 分)**，皆支持溶液與室溫的溫差越大，散熱速率越快。三者冷卻過程的趨勢線皆符合指數函數，且三者的 k 值分別為 **0.022、0.028 及 0.022**，顯示三者的物體的特性常數有差異，其中先加冷水與後加冷水的後五分鐘， k 值分別為 0.022 與 0.022 相同，但兩者與未加冷水的前五分鐘(k 值 0.028)相差較大，表示兩者與未加冷水的前五分鐘性質差異較大。

3. 不同質量純水在 10 分鐘內的溫度變化(關係圖如圖 4)：初溫皆為 80°C，經過 10 分鐘後：

100g 純水下降至

59.7°C，共下降

20.3°C，平均下降

2.03°C/分；150g 純

水下降至 63.2°C，共

下降 16.8°C，平均下

降速率 1.68°C/分；

200g 純水的溫度由

80.0°C 下降到

66.1°C，共下降

13.9°C，平均下降速

率為 1.39°C/分；250g 純水下降至 67.8°C，共下降 12.2°C，平均下降速率 1.22°C/分；300g

純水下降至 68.9°C，共下降 11.1°C，平均下降速率 1.11°C/分。溫度下降平均速率比較結

果：100g > 150g > 200g > 250g > 300g，初步結果顯示，水量越少，降溫速率越大。因此使

用純水探討不同質量對降溫之影響。k 值的大小為 100g (0.039) > 150g (0.031) > 200g

(0.025) > 250g (0.022) > 300g (0.020)，當水的質量越大時，保溫的效果會越好，且

當水的質量小於 200g 時，k 值得變化會越來越大。此外，300g 的 k 值是所有實驗中的 k

值最小的，也說明了 300g 純水的保溫效果比其他方法都好。而根據 $\Delta H = sm\Delta T$ ，當質量

越大時，熱量越不容易散失，反之，質量越小，熱量越易散失。

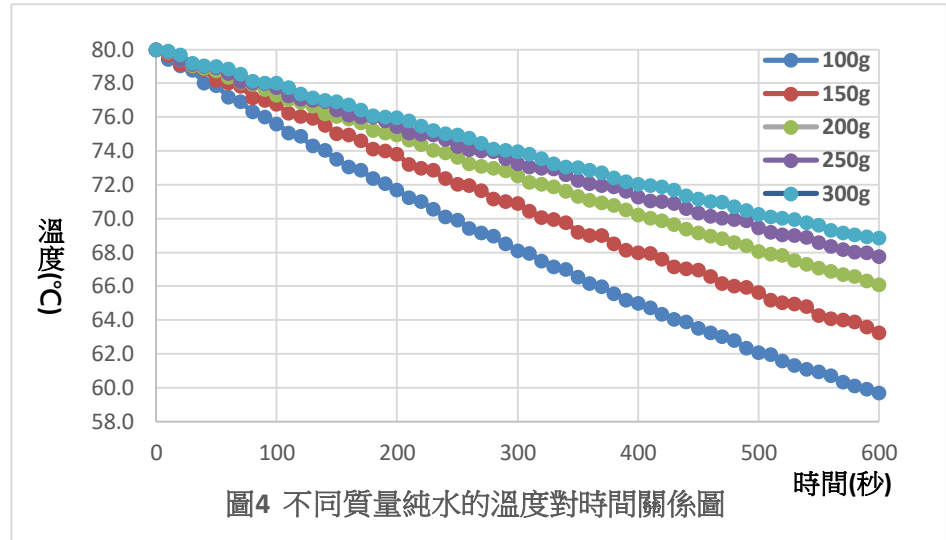


圖4 不同質量純水的溫度對時間關係圖

4. 相同質量純水在不同蒸發面積下 10 分鐘內的溫度變化(關係圖如圖 5)：杯子的總開口面積

經四捨五入後為 41.8 平

方公分，1/8 則為切開的

杯蓋面積，且實驗使用

300g 純水，原因是當質

量越大，環境因素

(如：濕度與大氣壓

力) 的影響就越小。不

同蒸散面積之 300g 純水

在 10 分鐘內的溫度對時

間變化如圖 5。經過 10

分鐘後：在實驗過程中

所蒸發的水質量依序為

1/8：5g、2/8：7g、3/8：7g、4/8：8g。全蓋的溫度下降至 68.9°C，共下降 11.1°C，平均下

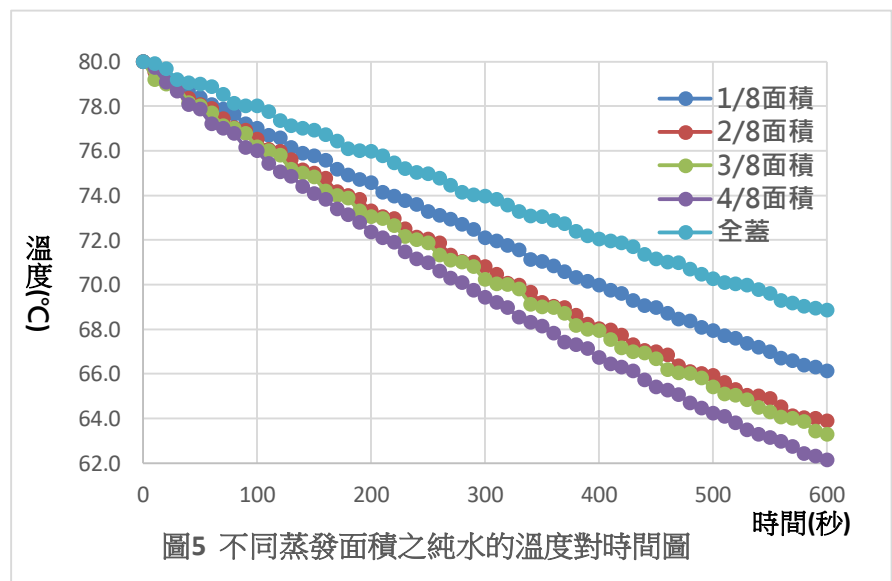


圖5 不同蒸發面積之純水的溫度對時間圖

降速率 1.11°C/分；1/8 蒸散面積的溫度下降至 66.1°C，共下降 13.9°C，平均下降速率為 1.39°C/分；2/8 面積的溫度下降至 63.9°C，共下降 16.1°C，平均下降速率 1.61°C/分；3/8 面積的溫度下降至 63.3°C，共下降 16.7°C，平均下降速率 1.67°C/分；4/8 面積的溫度下降至 62.1，共下降 17.9°C，平均下降速率 1.79°C/分。溫度下降平均速率比較結果：4/8 面積 > 3/8 面積 > 2/8 面積 > 1/8 面積 > 全蓋，初步結果顯示，蒸散面積越大，降溫速率越大。k 值的大小為 4/8 (0.033) > 3/8 (0.031) > 2/8 (0.03) > 1/8 (0.025) > 全蓋 (0.02)。當面積越大時，蒸發的速率就會越快，因此蒸發面積的越大，k 值就越大，但彼此之間並未呈現正比關係。此外，在蒸發時，會有質量的減少，4/8 的質量減少最多，3/8 和 2/8 減少的量相同，1/8 減少最少，而 4/8 的 k 值最大，2/8 和 3/8 的 k 值相近，全蓋的 k 值最小，或許除了蒸發面積導致熱量散失外，質量的散失可能也會影響 k 值，不過因散失量很小，所以對 k 值的影響可能不大。

五、結論與生活應用

- (一) 先加入室溫保久乳的拿鐵末溫會高於後加的，主要原因可由牛頓冷卻定律解釋之，其他原因為熱容量(質量與比熱乘積)、蒸發作用(若未加蓋)等。
- (二) 先加入室溫冷水的熱水末溫會高於後加的，證明水溫與室溫的溫差越大，散熱速率越快，此項實驗亦支持先加入室溫保久乳的末溫較高，溫差大小是主要因素。
- (三) 當水的質量越大，溫度的變化也會越小，k 值會越小。
- (四) 當蒸發面積越大，熱量就越容易散失，水的蒸發量也越多，溫度變化也就越大，k 值越大，但未成正比關係。
- (五) 要製作溫度較高的拿鐵，先在紙杯外套上杯套，且要在剛泡完咖啡後馬上加室溫牛奶，最後蓋上杯蓋，可防止蒸發作用。
- (六) 本研究皆有加杯蓋，可減緩蒸發作用，亦具有保溫效果。若是加入高溫的熱牛奶時，是先加還後加比較具保溫效果呢？根據牛頓冷卻定律推論，應是後加熱牛奶之拿鐵末溫較高，但此項主張，仍需進一步設計實驗來驗證，未來可直接設計操縱變因是不同時間加入熱牛奶 (熱牛奶溫度高於熱咖啡的初溫，其他變因皆相同)的液溫在相同時間的溫度變化情形，若後加的拿鐵末溫較高，就能直接支持此項主張。

參考資料

1. Wikipedia(2020)。Newton's law of cooling。2020 年 10 月 7 日引自 <https://en.wikipedia.org/wiki>。
2. 維基百科(2020)。冷卻定律。2020 年 10 月 12 日引自 <https://reurl.cc/av71n7>
3. 百度百科(2020)。牛頓冷卻定律。2020 年 10 月 14 日引自 <https://reurl.cc/Z7zXA3>
4. 維基百科(2021)。蒸發。2021 年 3 月 7 日引自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%92%B8%E5%8F%91>