

投稿類別：

化學類

篇名：

死於「啡」命---低咖啡因咖啡

作者：

李品瑩。私立景文高中。二年二班。

指導老師：

李怡慧老師

胡峻毓老師

壹●前言

咖啡一直以來是人們慣用的飲品，其中咖啡因含有抗氧化效果，有效對抗脅迫身體健康的自由基，可增強血管收縮及增進心肌收縮能力，並促進血液循環預防心血管疾病；亦可提高人體消耗熱量的速率、加速脂質的分解，使新陳代謝增加 3~4%，適量飲用可得到減重之效果，少量咖啡則可讓人心情愉悅，但是專家呼籲民眾每天不可攝取過量（300mg）的咖啡因（張聖譽，2008），適量的攝取會對人體的健康有益，但是過量會對身體有害，如同水能載舟，亦能覆舟的道理。

不只咖啡，咖啡因還存在於許多的食品中，但是由於測咖啡因含量的研究並不多，一來是咖啡中咖啡因含量偵測不易，再來可精確偵測的儀器不普及，且價格昂貴（如 HPLC 和質譜儀），因此咖啡飲品所標示的咖啡因含量，似乎只能當作參考值。在研究咖啡因含量時，發現傳統萃取咖啡因的方式過程繁瑣，而且產率不高（吳玟璵等，2012）。為了找出可以更快速又精準的方式定量咖啡因，就算在微量的樣品中也能測出含量，所以希望利用電化學的電位差法來定量飲料中咖啡因（藍景昭，2012）。

冰滴咖啡一直以來都有標榜低咖啡因咖啡，但難以去證實或檢驗其咖啡因含量。另外，市面上的低咖啡因咖啡或是標榜無咖啡因咖啡售價昂貴，價格為一般咖啡豆的 3~4 倍，分離出咖啡因的過程又可能有溶劑殘留的疑慮，長期飲用可能使人體受到傷害，尤其是孕婦及孩童或是已有心血管疾病的飲用者（袁慈君，2013）。為了解決這些問題，本研究運用了四種（熱泡、熱壓、冰滴、冷壓）不同製作咖啡的沖提方式（張聖譽，2008），檢驗各種咖啡使水蚤心跳頻率與個體存活率的改變，來判斷咖啡因的有無與影響，希望可以找出方便、快速、安全的做法，來製作出低咖啡因的咖啡。

本研究的主要目的

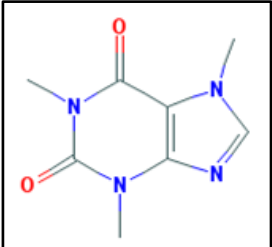
- 一、利用電化學的電位差法，檢驗咖啡中的咖啡因估計含量。
- 二、以不同方式沖提咖啡，探討其中咖啡因的相對含量。
- 三、比較不同品牌低咖啡因咖啡，對水蚤心跳頻率的影響，進而推論可能對人體健康的疑慮。

貳●正文

研究設備及器材

- 一、檢驗用節肢動物：圓水蚤（*Moina irrasa*）
- 二、器材名稱：分液漏斗、減壓濃縮裝置、超音波震盪器、針筒、燒杯、漏斗、玻璃滴管、微量吸管、微量天秤、pH 儀
- 三、藥品名稱：無水硫酸鈉、醋酸鉛、甲苯、酒精、葡萄糖、咖啡因



	咖啡因	
分子量	194.19g/mol	
昇華點	178°C (352°F ; 451K)	
熔點	237°C (459°F ; 510K)	
pH	6.9	

- 四、實驗品名稱：UCC 炭燒咖啡粉（簡稱 U 咖啡）、義大利 illy caffe 低咖啡因咖啡粉（簡稱低 A 咖啡）、illy（意利）低咖啡因咖啡粉（簡稱低 B 咖啡）、LAVAZZA 低咖啡因研磨咖啡粉（簡稱低 C 咖啡）



U 咖啡



低 A 咖啡



低 B 咖啡



低 C 咖啡

實驗一：萃取咖啡因標準品（吳玟璉等，2012）

- 一、U咖啡粉50 g與水300 mL混合，加熱至沸騰後浸泡五分鐘，過濾取得咖啡原液。
- 二、將咖啡原液250mL，加入2 g的醋酸鉛，趁熱過濾除去單寧酸（圖一）。
- 三、用分液漏斗加入250mL甲苯萃取（圖二），收集有機層，重複兩次。
- 四、萃取後的甲苯加入無水硫酸鈉去除水分，再將過濾完的甲苯層倒入減壓濃縮裝置（圖三）去除甲苯，得到粗咖啡因。
- 五、將粗咖啡因移至蒸發皿上，蓋上錶玻璃，加熱至 178°C 使咖啡因昇華在錶玻璃上結晶，即得到純咖啡因之標準品。



圖一、以醋酸鉛過濾去除丹寧酸



圖二、以無水硫酸鈉去除水分

實驗二：製作熱泡、熱壓、冰滴、冷壓四種咖啡

- 一、熱泡咖啡（圖四 a）
 1. 將 10 g 的 U 咖啡粉倒入熱沖咖啡機中。
 2. 加入 150 mL 的水。
 3. 約五分鐘後即可得到一杯熱泡咖啡。



圖三、減壓濃縮裝置



圖四、a.熱沖咖啡機；b.熱壓與冷壓咖啡筒；c.冰滴咖啡

二、熱壓咖啡（圖四 b）

1. 將 10 g 的 U 咖啡粉倒入熱壓咖啡筒中。
2. 倒入 90 °C 熱水 150mL 並攪拌均勻。
3. 將攪拌均勻好的咖啡液放在咖啡壺上，10 秒內壓完，濾出咖啡即可。

三、冰滴咖啡（圖四 c）

1. 將 10 g 的 U 咖啡粉倒入過濾壺中，以 10 mL 水均勻沾濕咖啡粉後，剪裁與過濾壺大小相等的餐巾紙放入過濾壺。
2. 將冰滴裝置的分液漏斗，裝入 150 mL，4 °C 的冰水。
3. 調整滴水速率約 10 秒一滴，全程控制在 4 °C 冰箱中。
4. 約四小時，完成一份冰滴咖啡。

四、冷壓咖啡（圖四 b）：與熱壓咖啡相同設備。

1. 將 10 g 的 U 咖啡粉倒入咖啡筒中，加入 150 mL、4 °C 的水攪拌均勻。
2. 10 秒內壓完，濾出咖啡。
3. 將濾出的咖啡，重複通過咖啡筒中之咖啡粉五次。

實驗三：利用圓水蚤（*Moina irrasa*）的心跳反應，測定咖啡因之相對含量

- 一、取得水蚤後，先飼養一天，以適應環境。
- 二、將已適應環境的水蚤，取一隻置於凹槽玻片上，並蓋上蓋玻片，紀錄水蚤的基礎心跳；以 S 型計數方法，紀錄水蚤心跳次數（每次 60 秒）。
- 三、將水分緩慢吸乾，滴入待測液 1 滴，約 30 秒後再測水蚤心跳，連續測量五次取其平均值。
- 四、記錄不同方式取得的咖啡，對水蚤心跳次數影響的變化。
- 五、重複上述的方式，測量原池水和 10%葡萄糖水，並記錄心跳。
- 六、重複上述的方式，測量不同低咖啡因咖啡，並記錄心跳。
- 七、重複上述的方式，測量咖啡因標準品，並記錄心跳。

實驗四：以咖啡因標準品做出 mV 值與咖啡因濃度之標準曲線

- 一、以連續稀釋法配置 1000 ppm、500 ppm、50 ppm、5 ppm、1 ppm 五種不同濃度之咖啡因標準品。
- 二、利用 pH 儀在 25 °C 之恆溫水浴槽中，測量不同濃度之咖啡因標準品的 pH 值與 mV 值，並做出標準曲線。
- 三、利用標準曲線，可回推咖啡中咖啡因的含量。

實驗五：比較 U 咖啡以及市售低咖啡因咖啡 mV 值之差異

- 一、使用實驗四相同的方式，測量 U 咖啡粉以四種不同方式製作而成之咖啡，紀錄 mV 值作為實驗組。
- 二、測量低 C 咖啡粉以四種不同方式製作之咖啡，紀錄 mV 值作為對照組。
- 三、推估咖啡中咖啡因的含量。

實驗六：比較四種不同方式製作之咖啡

- 一、以 U 咖啡與低 C 咖啡，分別製作四種不同方式之咖啡。
- 二、找二十人試喝上述 8 杯咖啡，並請其比較其色澤、口感及香味之差異。

研究結果

實驗一：萃取咖啡因標準品









表一、利用減壓濃縮裝置所製得的咖啡因標準品

	咖啡粉(g)	咖啡因淨重(mg)
第一次	50	47.0
第二次	50	51.0
第三次	50	71.0
平均		56.3



實驗二：製作熱泡、熱壓、冰滴、冷壓四種咖啡

表二、不同製作方式所得的咖啡外觀

咖啡種類	熱泡	熱壓	冰滴	冷壓
U 咖啡				
低 C 咖啡				

圖五、咖啡因標準品

實驗三：利用圓水蚤（*Moina irrasa*）的心跳反應，測定咖啡因之相對含量

表三、原池水與 10%葡萄糖水，觀察水蚤心跳次數的變化

（每隻水蚤五次心跳測量平均次數/分鐘）

製作方式 / 環境	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	平均	增加率	
對照組	池水	286.4	285.7	301.3	298.8	276.4	290.3	---
	加入池水	287.6	284.1	302.8	301.5	279.0	291.1	0.3%
糖水組	池水	196.9	219.6	206.5	211.3	200.2	206.0	---
	加入糖水	200.1	212.0	191.9	207.7	203.8	203.9	-1.0%

表四、U 咖啡由四種沖提方式所製得的咖啡，以水蚤心跳測得咖啡因相對含量
(每隻水蚤五次心跳測量平均次數/分鐘)

製作方式/環境	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	平均	增加率	
熱泡	池水	221.3	264.0	298.2	276.9	253.2	264.7	---
	加入咖啡	253.8	265.5	336.7	285.4	258.3	269.7	1.9%
熱壓	池水	223.4	266.3	242.1	200.0	224.6	230.0	---
	加入咖啡	255.7	295.8	234.5	211.4	227.9	239.4	3.9%
冰滴	池水	247.8	242.2	254.3	212.1	212.0	234.0	---
	加入咖啡	252.1	277.7	255.8	228.0	221.8	245.3	4.6%
冷壓	池水	279.3	257.4	277.0	222.8	220.2	252.4	---
	加入咖啡	278.4	269.7	301.2	237.6	229.9	261.9	3.6%

表五、三種低咖啡因咖啡經熱泡沖提，以水蚤心跳測得咖啡因相對含量
(每隻水蚤五次心跳測量平均次數/分鐘)*死亡的水蚤不列入平均

製作方式/環境	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	平均	增加率	
低 A 咖啡	池水	267.4	229.6	256.9	310.7	204.1	251.3	---
	加入咖啡	死亡	死亡	263.2	死亡	263.5	263.4*	4.6%
低 B 咖啡	池水	201.5	217.3	225.4	200.4	321.7	214.7	---
	加入咖啡	214.1	死亡	229.9	死亡	死亡	222.0*	3.3%
低 C 咖啡	池水	224.7	231.2	210.8	310.5	341.8	255.5	---
	加入咖啡	249.5	231.9	240.4	356.3	367.6	282.1	9.4%

表六、不同咖啡因標準品濃度，對水蚤的影響(每隻水蚤五次心跳測量平均次數/分鐘)

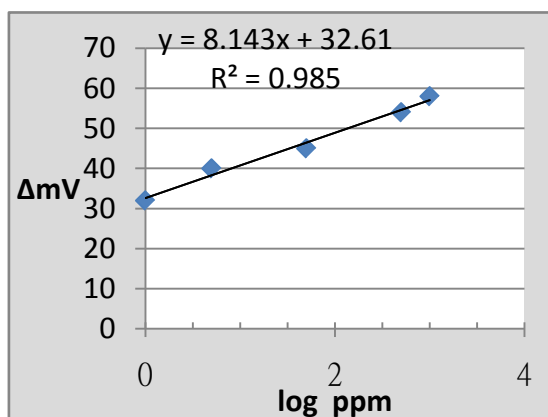
製作方式/環境	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	平均	增加率
池水	265.3	276.9	288.8	270.0	319.3	278.6	---
咖啡因 1ppm	258.7	262.2	253.4	280.5	317.9	267.1	-4.3%
池水	270.9	252.4	263.6	319.4	343.2	284.6	---
咖啡因 5ppm	281.6	276.0	278.5	317.6	345.5	292.6	2.7%
池水	260.2	308.3	337.0	332.1	322.1	320.8	---
咖啡因 50ppm	270.0	314.6	349.4	337.7	328.8	327.0	1.9%
池水	293.9	319.0	338.3	347.3	313.2	323.5	---
咖啡因 500ppm	298.6	327.2	338.6	357.9	311.6	325.8	0.7%
池水	279.7	271.9	273.5	342.6	342.4	298.5	---
咖啡因 1000ppm	303.5	295.2	282.9	346.2	347.1	315.3	5.3%

實驗三結果：由表三的結果得知，水蚤在原加入池水或 10%葡萄糖時，兩者都無明顯影響水蚤心跳頻率，的確可以做為咖啡因定性的指標。

實驗四：以咖啡因標準品做出 mV 值與咖啡因濃度之標準曲線

表七、不同濃度咖啡因的 pH 值與 mV 值 (25°C)

	pH 值	mV 值	ΔmV 值
純水	7.31	-010	0
1ppm	6.72	022	32
5 ppm	6.56	030	40
50 ppm	6.47	035	45
500 ppm	6.31	044	54
1000ppm	6.24	048	58



圖六、咖啡因標準品濃度和 ΔmV 之關係 (25°C)

實驗四結果：咖啡因標準品濃度和 ΔmV 的等量線， $R^2=0.985$ ，得到方程式為 $y=8.1433x+32.613$

實驗五：比較 U 咖啡以及市售低咖啡因咖啡 mV 值之差異

表八、檢測各種實驗咖啡的 pH 值、mV 值 (25°C)，並計算 ΔmV 值與回推咖啡因濃度 (ppm)

		pH 值	mV 值	ΔmV 值	推估之咖啡因 ppm
熱泡	低 C 咖啡	6.13	050	0	---
	U 咖啡	5.29	101	51	181
熱壓	低 C 咖啡	6.13	050	0	---
	U 咖啡	5.28	101	51	181
冰滴	低 C 咖啡	6.21	045	0	---
	U 咖啡	5.43	093	52	240
冷壓	低 C 咖啡	6.22	045	0	---
	U 咖啡	5.50	089	48	77.5

實驗五結果：因為咖啡溶出物很多且很複雜，所以用低 C 咖啡做為對照組，兩個電位差相減可以減低誤差。

實驗六：比較四種不同沖提製作方式之咖啡

表九、以不同沖提製作方式所得的咖啡，比較其顏色、香味與味道的差異

		香味	味道
U 咖啡	熱泡	與一般咖啡無異	苦，有咖啡香，較酸
	熱壓	與一般咖啡無異	苦，有咖啡香，較不酸
	冰滴	較一般咖啡淡，但有酒香	比一般咖啡淡，較不酸澀
	冷壓	香氣較淡，但有塑膠味	比一般咖啡淡，微甜，較不酸澀
低 C 咖啡	熱泡	超香	咖啡味超濃郁
	熱壓	超香	咖啡味超濃郁
	冰滴	香	咖啡味較淡
	冷壓	香	咖啡味較淡

討論

一、咖啡因的相對濃度：

- (一) 滴入原池水與 10%葡萄糖液，其結果都未對水蚤的心跳頻率造成明顯改變（表三），可見此研究方法的穩定性與可信性，確實可以用來檢測各類咖啡的咖啡因相對含量。
- (二) 由表四結果可以發現，咖啡因確實造成水蚤的心跳頻率提高，增加率為 1.9%~4.6%，且不論何種沖提方式都會造成刺激性。而表五的三種低咖啡因咖啡，所造成的水蚤心跳頻率提升比例更高，增加率為 4.6%~9.4%，所以這三種咖啡的咖啡因含量值得深入探討，也可能是在去除咖啡因的過程中產生了部分的殘留物或是某些人工添加物，導致水蚤心跳頻率提高，甚至死亡率也增加不少，達 40%，食用上的安全性也很值得探討。
- (三) 實驗三的設計，是希望水蚤可以做為咖啡因定量的指標，但是從表六的結果來看，500ppm 以下增加率並不穩定，可能與操作時的環境因素或水蚤的個體差異有關；而 1000ppm 時，心跳頻率增加很多，增加率達 5.3%，可見高濃度的咖啡因真的對生物有不小的傷害。至於原先的定量目標，可能得再增加其他控制變因，讓結果更為穩定後才適合使用。
- (四) 低 C 咖啡在實驗三中，較不會讓水蚤大量死亡，所以選用其為實驗五、六的對照組。

二、利用電化學的電位差法，檢驗各種沖提方式的咖啡因含量：

- (一) 表七是由實驗一所萃取純化的咖啡因標準品，檢測不同濃度咖啡因的 pH 值與 mV 值，由圖六可知咖啡因標準品與 mV 變化量，呈現正相關 ($R^2=0.985$, $y=8.1433x+32.613$)。根據 ECC (European Economic Community 歐洲經濟共同組織) 規定 (食品藥物消費者知識服務網)：要稱為低咖啡因咖啡的標準，是每杯咖啡中的咖啡因含量不得超過 0.1%，才是真正的低咖啡因咖啡，換算劑量約 66.7ppm，也就是每 10g 咖啡粉中，只能有 10mg 咖啡因。
- (二) 在實驗一平均每 50g 的 U 咖啡粉可萃取出 56.3mg 的咖啡因標準品 (表一、圖五)，已超過 ECC 所提的低咖啡因標準，而且純化的過程會喪失許多咖啡因，可見實際上一般咖啡的咖啡因含量真的不少。
- (三) 實驗五是利用實驗四所得的結果，以電位差法推估比較各種沖提方式的咖啡因含量。依表八結果顯示，冰滴的沖提方式卻意外的達到 240ppm，可見此法無法有效降低咖啡因；冷壓沖提方式已經成功將咖啡因含量減低至 77.5ppm，使其濃度不到熱泡、熱壓沖提方式的 50%，冷壓雖然還未達低咖啡因標準，但是已經很接近，顯示冷壓沖提是可以有效降低咖啡中的咖啡因含量。

三、不同沖提方式對咖啡口味的影響：

- (一) 由表二的結果顯示，不同的沖提方式在顏色方面並無太大影響，而經過實驗六的問卷分析後 (表九)，U 咖啡不同的沖提方式在香味與味道上，雖然都有些許不同，此結果僅提供參考，因平時購買咖啡主要還是依個人喜好不同。至於低 C 咖啡的香味與味道在沖提後有明顯不同，熱泡與熱壓的香味都很強烈，超過 U 咖啡許多，似乎有額外添加香料成分；但於冰滴與冷壓的部分香味略顯降低，味道也減弱許多，可見所添加的香料成分需要高溫才易於溶出。
- (二) 低 C 咖啡的香味極濃郁，可能於製程中添加人工香味劑，這也有可能是造成水蚤死亡率提高的原因，那對於人體健康的疑慮，當然也相對增加許多。

四、綜合討論：

- (一) 由於每隻水蚤的個體差異與健康狀況不同，故要多幾隻、多做幾次取其平均值，來提升數據的正確性，所以各次的實驗都使用五隻水蚤，並連續紀錄五次心跳；影響水蚤的心跳頻率因素很多，有劍水蚤干擾、懷孕或正在排泄，都會影響水蚤的心跳頻率，過程中都會盡力排除外界干擾以提升研究結果的準確性。

- (二) 冰滴的沖提方式，約需耗時 4 小時，且推估的咖啡因含量頗高，又有衛生疑慮，而冷壓只要 3~5 分鐘，明顯省去不少時間；不過冷壓咖啡的香味與味道與其他沖提方式略有不同，還得看看消費者的接收度，但其咖啡因含量較低，無須添加香料，且無須擔心去除咖啡因時的有機溶劑殘留。

未來展望：

利用電化學的電位差法，可快速又方便測得咖啡因含量，未來或許能製造出類似血糖機大小的裝置，方便檢測各類飲品的咖啡因濃度。另外，市售低咖啡因咖啡使水蚤死亡率提高的原因，可就其製程或添加成分做更深入的探討。

參●結論

- 一、市售低咖啡因的咖啡，會明顯提高水蚤的心跳頻率，且會提高水蚤的死亡率，若長期飲用可能有危害人體健康的疑慮。
- 二、冰滴咖啡的咖啡因比預期中的多，此法無法降低咖啡因的溶出量，可能是沖提時間過長，即使是低溫之下，還是會提高咖啡因的溶出率。
- 三、冷壓沖提法成本不高，且有效降低咖啡因含量，值得研究改良與推廣。

肆●參考資料

- 袁慈君 (2013)。以水蚤毒性試驗評估有機毒物之混合毒性研究。國立交通大學環境工程研究所碩士論文，88 頁。
- 吳玟璵、張邵閔、徐常珣、高健泰 (2012)。茶葉中咖啡因之萃取。修平科技大學能源與材料科技系實務專題論文，121 頁。
- 藍景昭 (2012)。利用 HPLC 及電化學方式檢測市售飲料中咖啡因含量。元培科技大學食品科學研究所碩士論文，68 頁。
- 張聖譽 (2008)。萃取方式對咖啡因及咖啡香味濃度影響之研究。遠東科技大學機械研究所碩士論文，73 頁。
- 薛盛仁 (2007)。綠茶葉中高純度 EGCG 及咖啡因之新分離程序。國立高雄應用科技大學化學工程系碩士班碩士論文，64 頁。
- 食品藥物消費者知識服務網---飲料類衛生標準。衛生福利部食品藥物管理署。2015 年 3 月 16 日取自：
<https://consumer.fda.gov.tw/Law/Detail.aspx?nodeID=518&lawid=104>