

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030322

”啡” ”寧”不可！——咖啡產地、烘焙與沖泡的
手法對咖啡因與單寧酸的影響

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者： 國二 劉佳珮 國二 陳姿伶 國二 李健銘	指導老師： 丁崇祺 黃韋瑜
---	-----------------------------

關鍵詞：烘焙、咖啡因、單寧酸

摘要：

泡咖啡是一個值得深入研究且很難找得到正確答案的，想要了解咖啡，就要從咖啡的產地，甚至自己烘焙咖啡著手。

產地環境判斷：

- 1、六種咖啡豆產地中，降雨量高、溫度低、日夜溫差大，所產生的咖啡因越多，觀察與咖啡豆成熟度有關。
- 2、非火山土壤的咖啡因與單寧酸都較少，推測與土壤中礦物質多寡有關。
- 3、咖啡豆水洗比日曬的咖啡因較多，推測與高溫曝曬有關。

成分物性與化性判斷：

- 1、烘焙程度越深，咖啡因含量越高，但烘焙溫度超過 240°C 時，其咖啡因卻下降。單寧酸大部分在一爆結束後烘焙越深越少，衣索匹亞則在一到二爆間才開始下降。
- 2、沖泡溫度越高，所產生的咖啡因與單寧酸也越高。
- 3、研磨越細，咖啡因與單寧酸也會越高。

壹、研究動機

因為小組成員家裡在古坑有種咖啡，但家人也不是很懂咖啡，只知道喝咖啡會影響睡眠。而要認識咖啡，就要從種咖啡開始了解，經過查詢資料後，發現咖啡裡所含的咖啡因是提神的主因，澀味來自於所含的單寧酸，而酸味則來自於綠原酸。

同樣阿拉比卡種的咖啡豆，不同產地、烘焙程度及手法的不同等因素，皆會造成咖啡品嚐的風味會大不相同，會使有的咖啡味道偏澀，而有的偏苦，我們想從了解生豆產地氣候到咖啡豆的製造過程一直到沖泡咖啡的手法，對咖啡因與單寧酸含量上的差異性進行比較。所以想藉由這個實驗來了解，就咖啡生長環境以及沖泡方法的不同來看，對咖啡豆從淺焙到深焙的咖啡因含量與單寧酸的含量多寡有何影響。

貳、研究目的

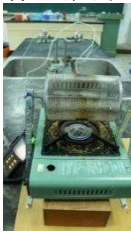


- 1、了解因產地不同對咖啡豆生豆與熟豆外型顏色的影響。
- 2、了解烘焙程度對咖啡因與單寧酸含量的影響。
- 3、了解沖泡溫度與時間對咖啡因與單寧酸含量的影響。
- 4、了解研磨刻度大小對咖啡因與單寧酸含量的影響。
- 5、了解不同產地氣候對咖啡因與單寧酸含量的影響。
- 6、了解咖啡豆水洗與日曬對咖啡因與單寧酸含量的影響。

參、實驗器材與藥品

材料與藥品：咖啡生豆(巴西、哥倫比亞、印尼、東帝汶、衣索匹亞、台灣古坑)， 醋酸鉛，
乙酸乙酯

程式：Instant Color Picker 2.5.0.32

器材：

咖啡豆烘焙機 	濾紙 	烤箱 	咖啡研磨器 
燒杯若干個 	熱電偶溫度計 	電子秤 	酒精燈加熱組 
漏斗 	不銹鋼盤 	錐形瓶 	分液漏斗 

肆、研究過程與方法

研究架構：

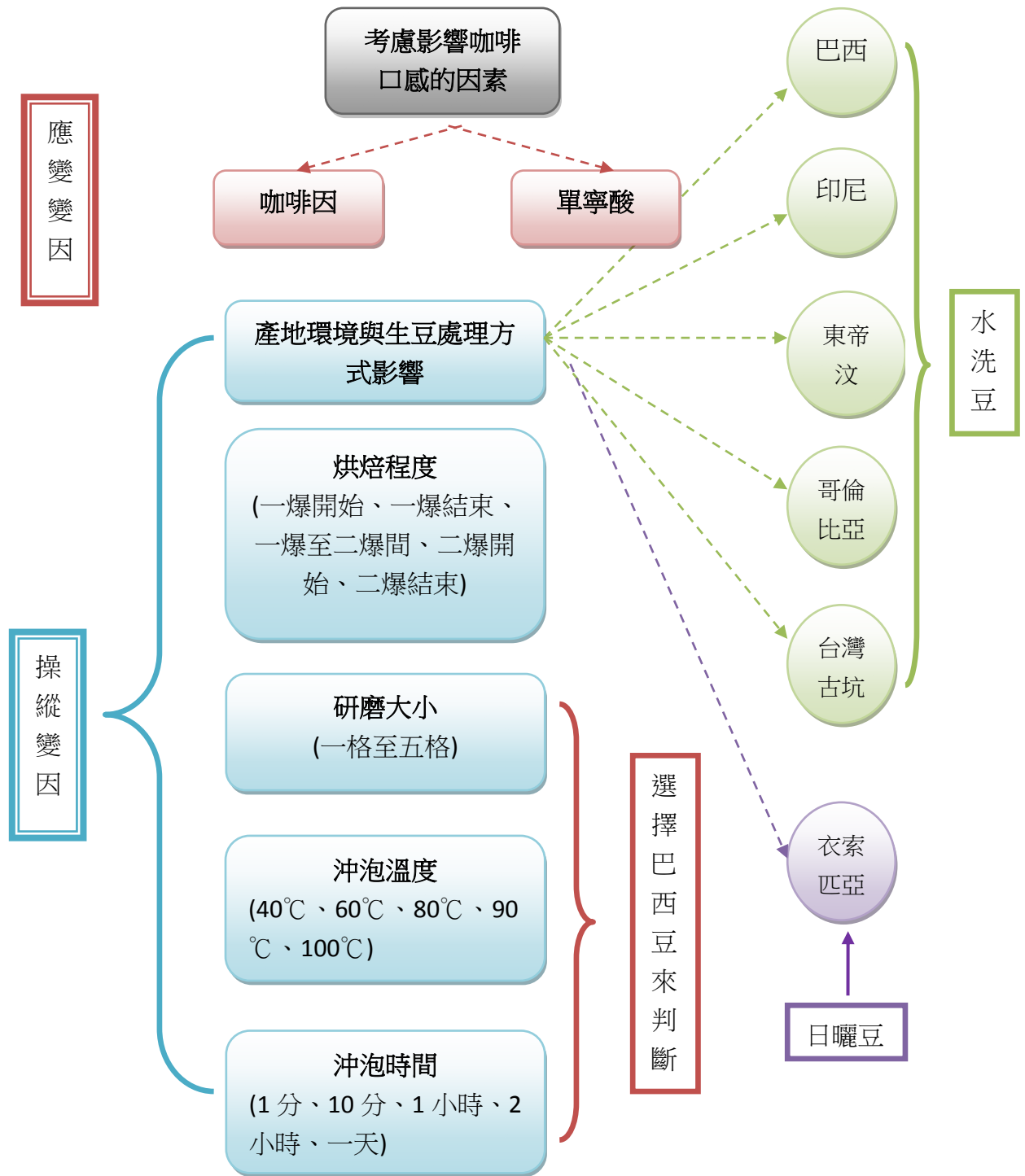


圖1 研究架構圖

實驗準備：

咖啡烘焙的機器一台就上達數千元到數萬元不等，金額高昂且很難借到(有借過，但對方怕弄壞，故不出借)，所以我們小組就乾脆自己去製作烘豆機。在討論的過程中，結構上也在三個人不斷的討論中改變，結果其實已經與剛開始構思的烘豆機有很大的不同。

初始構想是採用學姊阿嬾烘焙咖啡的方式，用鏟子在鐵鍋上炒豆子，但缺點是很難觀察且熱量很難穩定供應，會使得每顆豆子烘焙程度可能不一，故因此作罷。後來在網路上看到日本有在賣咖啡手炒網的成品，如下圖2，所以參考手炒網想利用五金行所賣的兩張炸網做結合，想做出類似手炒網的成品，示意圖如下圖3，但經過與老師討論之後發現缺點是炒咖啡豆不會均勻且須用手一直炒，費時且費力，於是開始動了加裝馬達成為自動裝置的念頭。



圖2 手炒網參考圖

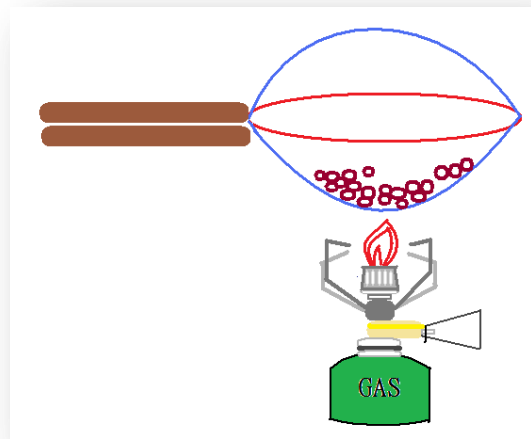


圖3 烘豆機一號設計圖

在網路購買的烤籠與馬達，加上金屬零件組成可電動式的烘豆機，在橫桿與馬達的軸心連結處如下圖4，也靠著改過的聯軸器組合完成，如下頁圖4與圖5。



圖4 烤籠橫桿組裝聯軸器



圖5 馬達軸心組裝聯軸器

為了讓轉速可以做調整，於是找了可調整的變壓器如下圖6，將兩個聯結如下圖7，使其可以調整電壓，讓轉速可從每分鐘調整30轉到150轉的六段速度。



圖6 可調電壓的變壓器



圖7 可變速馬達

主體烤籠則是從淘寶購買過來，原本是接在烤箱內，故取來做為主體，如下圖8，並製作固定架，並與其他物件做組合，而成為自製咖啡烘焙機，如下圖9，而火源原本使用高山瓦斯，但發現高山瓦斯的火源太過於集中，故改以卡式爐置於烤籠下方加熱，加熱範圍也比較廣。



圖8 烤籠



圖9 烘豆機二號

咖啡來源：

咖啡是屬於茜草科咖啡屬的常綠灌木，而種類約有四十幾種，在市面上流通的咖啡種類大致有三種：阿拉比卡種(Coffee Arabica)、羅布斯塔種(Coffee Robusta)及賴比瑞亞種(Coffee Liberica)，阿拉比卡種佔世界生產總比例約70~80%，羅布斯塔種佔20~30%，所以本實驗主要針對不同產地的阿拉比卡種做研究。



圖 10 咖啡樹

咖啡樹可長到5~7公尺高，第一次開花約為樹齡3~4年，花呈乳白色且具有香甜的花香，花內有雄蕊5根，雌蕊1根。花凋謝完會形成果實，從一開始的綠色一直到熟成的紅色，果實外觀像小紅莓。咖啡果實內含有兩顆咖啡豆，也是咖啡樹的種籽，這兩顆咖啡豆各以其平面的一邊面對直立在果實內，各個咖啡豆都為一層薄的外膜所包圍，此膜稱為銀皮，黏質漿狀物包圍咖啡種子中，也就是咖啡的果肉，最外層則為外殼。

咖啡豆成分：

咖啡豆的化學組成眾多，會因栽種的土壤、氣候、品種有關(黃國棟，2003)，主要成分比例如右圖11。而本實驗主要針對成分中的咖啡因與產生澀味的單寧酸來做研究。

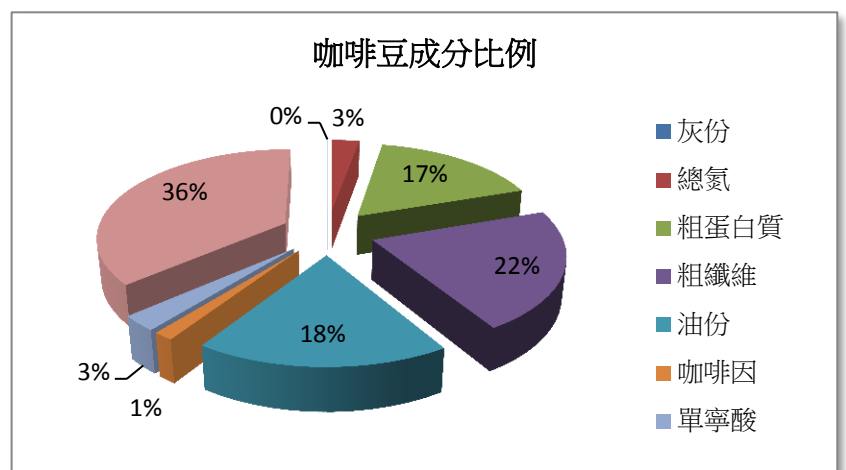


圖 11 咖啡豆成分比例圖

在網路對咖啡因的爭議是，有的支持咖啡因會因咖啡豆的品種和咖啡的烘焙方法不同而有所差異，也有人認為咖啡因結構穩定，受熱不易破壞，烘焙深淺並沒有差異性，故才對此作一系列相關研究。

咖啡因是一種植物生物鹼(如圖12)，能在許多植物中發現。咖啡因的化學式為 $C_8H_{10}N_4O_2$ ，略溶於水，易溶於乙酸乙酯、氯仿與丙酮等有機溶劑，就文獻發現氯仿效果較佳(田欣禾等，第50屆全國科展)，但氯仿具毒性，故本研究以乙酸乙酯做萃取的溶劑。

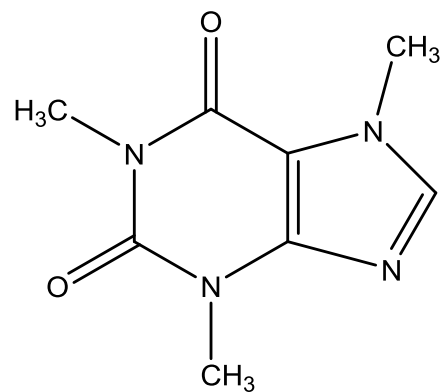


圖 12 咖啡因結構式

而咖啡中會澀的原因主要為單寧酸(如圖 13)，而單寧酸又稱單寧或丹寧，分子式 $C_{76}H_{52}O_{46}$ ，英文名 Tannin，中文名稱又叫鞣酸或鞣質，是植物中的一種化學成分。

性狀：淡黃色至淺棕色粉末，有特殊氣味，味極澀。溶於丙酮，不溶於氯仿或乙醚。單寧酸中的兒茶酚(如圖 14)鄰位的兩個羥基會與鉛形成錯合物不溶於水而沉澱，(台灣維基百科)故本研究以此方式估算單寧酸的量。

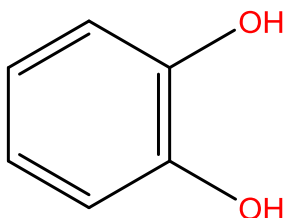


圖 14 兒茶酚

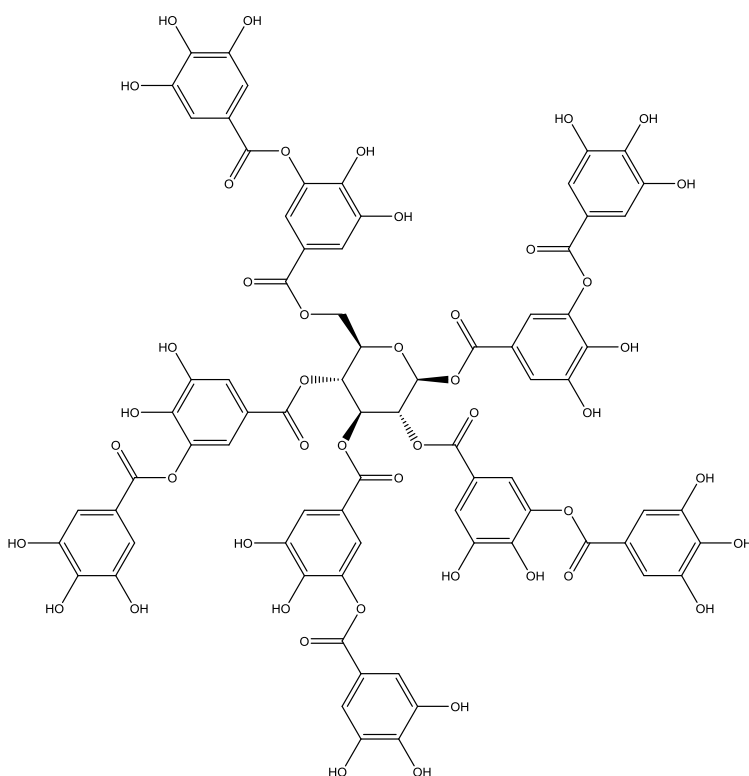


圖13 單寧酸結構式

生豆的處理及選擇：

處理方式大致分為兩種，一種為水洗，另一種為日曬，而水洗是將採下的果實放入水槽內浸泡幾個小時，以果肉機將果肉打掉，再將種子浸水二到四小時，使殘留的果肉發酵並完全掉落，乃得乾淨的種子；日曬就是用日光自然曬乾再剝皮，所以本實驗購買五種水洗豆及一種日曬豆做研究，主要是考慮價格和市面上一一般人接受度較高的種類而選擇來自巴西、哥倫比亞、東帝汶、印尼、衣索匹亞此五種產地的咖啡生豆再加上台灣本地的咖啡豆(由前往古坑時，所訪問的咖啡店家所提供)。

其中巴西、哥倫比亞、印尼、東帝汶、台灣為水洗咖啡豆，而只有衣索匹亞的西達摩是日曬豆。

實驗流程：

步驟一 觀察不同產地的咖啡生豆外型與顏色的差異

將巴西、哥倫比亞、東帝汶、印尼、衣索匹亞、台灣咖啡生豆取出，觀察及測量大小與色澤，色澤再利用拍照完的電子檔利用Instant Color Picker程式做RGB的比較分析。另外取生豆30顆，去計算平均每顆的重量。

步驟二 將咖啡生豆烘焙出不同程度熟度

每次取巴西、哥倫比亞、東帝汶、印尼、衣索匹亞、台灣咖啡生豆約150g，以自製咖啡烘焙器以固定火力分別將咖啡烘焙至一爆開始、一爆結束、一爆與二爆中間、二爆開始、二爆結束五種烘焙程度，並記錄其溫度、重量、烘焙時間及烘焙後的顏色。(不夠時再重複烘焙)

步驟三 將咖啡豆分別用不同刻度研磨磨製完成

取巴西咖啡二爆結束的熟豆，分別以五種不同刻度研磨完成。



圖15 咖啡研磨器



圖16 研磨後的咖啡粉

步驟四 將咖啡粉以不同溫度的水沖泡完成

取巴西咖啡粉60g，再個別以40°C、60°C、80°C、90°C、100°C 200ml的水沖泡完成。並分別靜置1分鐘、10分鐘、1小時、兩小時、一天再以濾紙做過濾。



圖17 沖泡後的咖啡



圖18 咖啡濾紙過濾

步驟五 將咖啡萃取咖啡因

將步驟四不同溫度泡好的咖啡，加入與咖啡體積比1:1的乙酸乙酯，以分液漏斗作萃取，將上層的溶液取出倒入燒杯內，並以酒精燈隔水加熱至溶液乾為止，將其稱重並紀錄之。



圖19 分液漏斗過濾



圖20 隔水加熱



圖21 萃取後的咖啡因

步驟六 將咖啡萃取單寧酸

重複步驟四，將泡好的咖啡，加入10g的醋酸鉛溶解後，再以濾紙過濾，用烤箱烘烤並將沉澱物刮出後秤重。



圖22 單寧酸鉛鹽過濾



圖23 單寧酸鉛鹽

步驟七 量取其他地區的咖啡因與單寧酸

將剩下的五種產地的咖啡豆(哥倫比亞、印尼、東帝汶、衣索匹亞、台灣古坑)以第四刻度研磨完成。各取60g的咖啡粉，再以90°C的熱水沖泡，並靜置一天並重複步驟五、六。

註：為了增加準確率，每次實驗皆做五次再做平均，實驗數據於附錄。

伍、研究結果與討論

產地：巴西

1. 觀察

1.1 產地氣候與介紹：

本研究巴西豆來自於喜拉朵產區，位於巴西中部的“喜拉朵草原氣候區”南部的臺地上，而所謂的喜拉朵咖啡產區是指大草原延伸到米納斯省境內海拔 850~1200 公尺台地的區域。

巴西咖啡豆是種在丘陵紅壤粗放並直接曝曬在陽光下生長，如此可使咖啡加速成長，年雨平均量則為每年 1600~1800 毫米。

1.2 咖啡生豆與熟豆的觀察

生豆顆粒較其他產地大顆，外觀呈現淡綠或淡黃色，下圖 24 即為生豆照片。



圖 24 生豆



圖 25 一爆開始



圖 26 一爆結束



圖 27 一爆至二爆間

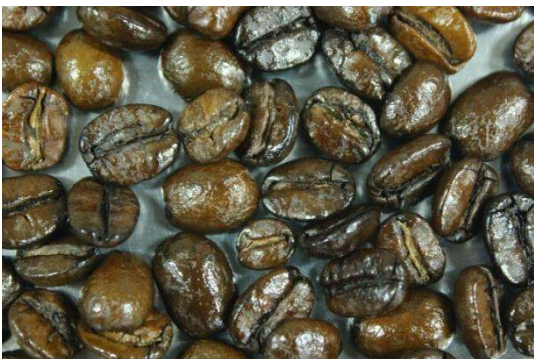


圖 28 二爆開始



圖 29 二爆結束

將生豆烘焙成五種不同的烘焙程度，將其分為一爆開始、一爆結束、一爆與二爆間、二爆開始、二爆結束，可以發現巴西豆的烘焙時間算短，在六分多鐘就產生第一爆，以上圖 25~29 為五種不同的烘焙程度的圖片。

2.不同烘焙程度，對咖啡因與單寧酸的影響

烘焙程度	一爆開始	一爆結束	一爆與二爆間	二爆開始	二爆結束
咖啡因	0.24g	0.31g	0.34g	0.42g	0.52g
單寧酸鉛	10.30g	13.52g	11.32g	10.26g	9.05g
時間	6分35秒	9分5秒	11分30秒	12分54秒	15分零秒
減重率	11.0%	13.3%	15.7%	16.9%	18.2%

3.不同研磨刻度下，咖啡因與單寧酸的影響

刻度	1格	2格	3格	4格	5格
咖啡因	0.12g	0.18g	0.29g	0.52g	0.69g
單寧酸鉛	3.25g	5.76g	8.22g	9.05g	10.23g

4.不同沖泡溫度下，咖啡因與單寧酸的影響

沖泡溫度	40	60	80	90	100
咖啡因	0.09g	0.19g	0.36g	0.52g	0.59g
單寧酸鉛	5.22g	7.08g	8.82g	9.05g	10.28g

5.不同沖泡時間下，咖啡因與單寧酸的影響

沖泡溫度	1分	10分	1hr	2hr	1day
咖啡因	0.24g	0.32g	0.47g	0.49g	0.52g
單寧酸鉛	4.97g	7.53g	8.37g	8.89g	9.05g

產地：哥倫比亞

1.觀察

1.1 產地氣候與介紹：

哥倫比亞有三條科迪耶拉山脈南北向縱貫，正好伸向安地斯山。沿著這些山脈的高地種植著咖啡。本咖啡豆產區為哥倫比亞的考卡台地，平均海拔 1758m，最高海拔可上升 2100 m，產在山地黑土精耕細作，最特殊的地方是溫差很大，夜均溫為 11℃，日均溫為 18℃，日夜溫差是構成優質咖啡的重要因素，夜間低溫相對更高的海拔減緩了咖啡的生長節奏，令咖啡種子以及咖啡豆能更加吸收咖啡果的營養，年降雨量為 2000 到 3000 釐米。土壤為弱酸性，排水佳。

1.2 咖啡生豆與熟豆的觀察：

其豆軟，較易研磨，豆型飽滿。

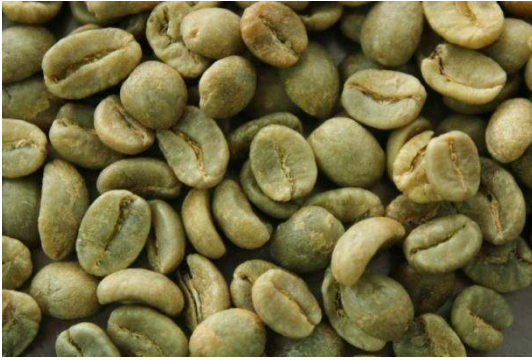


圖 30 生豆

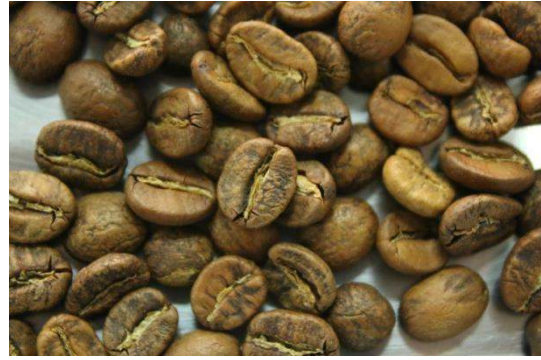


圖 31 一爆開始



圖 32 一爆結束



圖 33 一爆至二爆間



圖 34 二爆開始



圖 35 二爆結束

1.3 不同烘焙程度，咖啡因與單寧酸的影響

烘焙程度	一爆開始	一爆結束	一爆與二爆間	二爆開始	二爆結束
咖啡因	0.65g	0.71g	0.79g	0.84g	0.92g
單寧酸鉛	5.41g	6.28g	4.29g	4.03g	3.75g
時間	9分	10分20秒	11分58秒	13分35秒	16分27秒
減重率	11.5%	14.0%	15.1%	16.2%	17.9%

產地：印尼

1.觀察

1.1 產地氣候與介紹：

所有印尼的阿拉比卡咖啡的區域都位在最適合阿拉比卡咖啡的高度範圍之內。而本實驗咖啡豆產區為蘇門答臘林東，海拔約 1780~2610 公尺，平均溫度為 28°C。這裡的土壤為火山土壤，但鐵質缺乏之故，所以顏色較深且外觀較醜陋。

1.2 咖啡生豆與熟豆的觀察

下圖生豆顏色較深，與其他地區的咖啡豆有很大的不同。

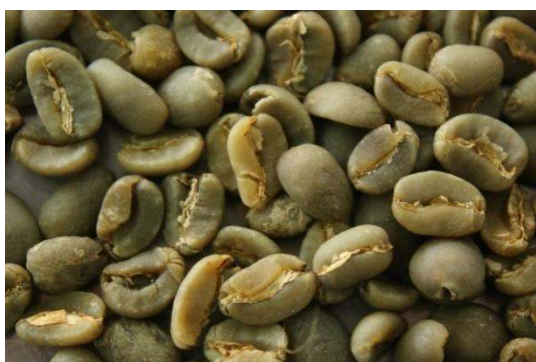


圖 36 生豆

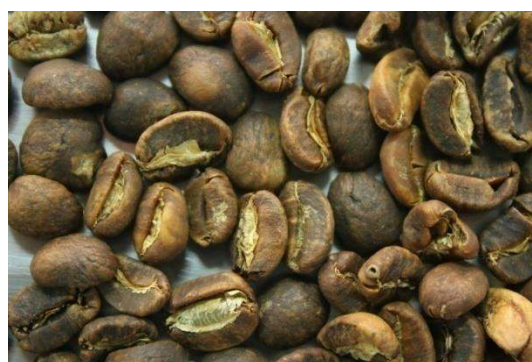


圖 37 一爆開始

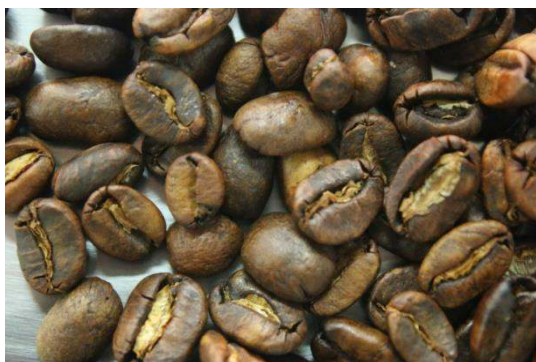


圖 38 一爆結束



圖 39 一爆至二爆間

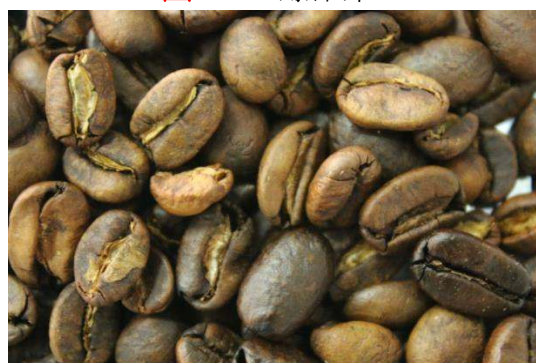


圖 40 二爆開始

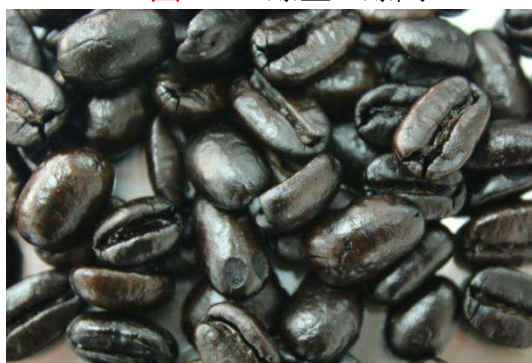


圖 41 二爆結束

1.3 不同烘焙程度，咖啡因與單寧酸的影響

烘焙程度	一爆開始	一爆結束	一爆與二爆間	二爆開始	二爆結束
咖啡因	0.30g	0.27g	0.24g	0.20g	0.16g
單寧酸鉛	5.22g	6.43g	5.67g	5.16g	4.15g
時間	7分42秒	9分37秒	11分26秒	13分51秒	16分01秒
減重率	9.1%	12%	19%	20.9%	27.3%

產地：東帝汶

1.觀察

1.1 產地氣候與介紹：

東帝汶的土地相當貧瘠。其地質主要是堅硬的石灰岩層。草原和荒地佔 13.1%，主要也是石灰岩構成的臺地。東帝汶的咖啡多是小型農莊以有機方式栽種，數量不多但品質精良，濃純度高帶香料氣息，適合多種不同程度的烘焙，香氣及甘苦均屬居中，果酸清淡，濃郁果香，脂質細膩。

1.2 咖啡生豆與熟豆的觀察

生豆綠中帶藍，與印尼曼特寧一樣，顆粒大且飽滿。

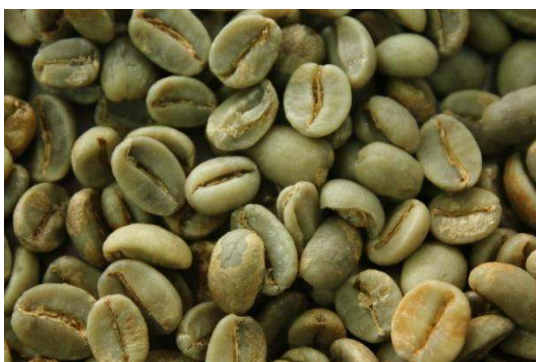


圖 42 生豆



圖 43 一爆開始



圖 44 一爆結束

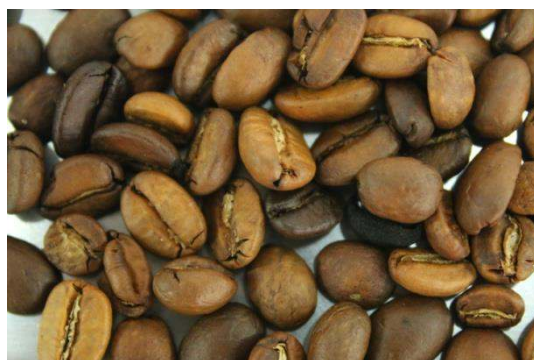


圖 45 一爆至二爆間



圖 46 二爆開始

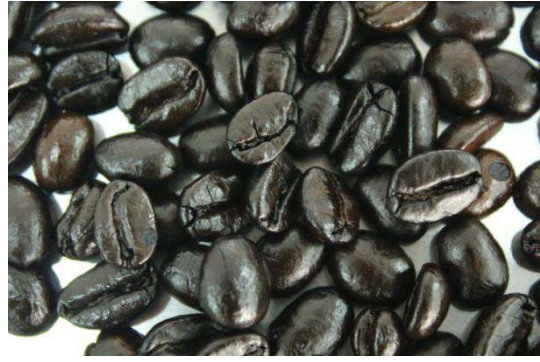


圖 47 二爆結束

1.3 不同烘焙程度，咖啡因與單寧酸的影響

烘焙程度	一爆開始	一爆結束	一爆與二爆間	二爆開始	二爆結束
咖啡因	0.17g	0.22g	0.30g	0.39g	0.47g
單寧酸鉛	7.70g	9.15	6.49g	4.39g	2.40g
時間	6分27秒	8分16秒	10分47秒	11分52秒	14分32秒
減重率	10.9%	12.0%	14.1%	15.5%	26.5%

產地：衣索匹亞

1. 觀察

1.1 產地氣候與介紹：

衣索比亞咖啡生長的海拔介於 550~2750 公尺，西部和南部土壤屬於火山岩，富含礦物質屬微酸性土質，年均溫在攝氏 15 到 25 度，是阿拉比卡絕佳的成長環境。

而這次所購買的衣索匹亞產地為西達摩，位於衣索比亞的南方，和肯亞相鄰。產區栽種地為紅色肥沃土壤，平均海拔 1950 公尺，年平均降雨量則大約 1100mm 左右。

1.2 咖啡生豆與熟豆的觀察



圖 48 生豆



圖 49 一爆開始



圖 50 一爆結束



圖 51 一爆至二爆間



圖 52 二爆開始



圖 53 二爆結束

2.不同烘焙程度，咖啡因與單寧酸的影響

烘焙程度	一爆開始	一爆結束	一爆與二爆間	二爆開始	二爆結束
咖啡因	0.26g	0.31g	0.33g	0.34g	0.36g
單寧酸	1.91g	2.32g	10.37g	3.27g	2.25g
時間	6分20秒	7分52秒	9分31秒	11分25秒	14分11秒
減重率	10.4%	13.0%	15.2%	16.1%	20.0%

產地：台灣

1.觀察

1.1 產地氣候與介紹：

古坑咖啡原產於臺灣雲林縣古坑鄉華山地區。正值北回歸線上的古坑，當地的荷苞山是主要的產地，日照和雨量均十分充沛，土壤因礫石之故，故排水佳，目前品種來自 1970 年代以前野放到山林的老咖啡樹，也是阿拉比卡種，是由台灣本土氣候條件自然篩選出來的適應品系，目前當地咖啡種植是與檳榔樹混著種的模式居多，本次所實驗的生豆，海拔大約六百多公尺處。

1.2 咖啡生豆與熟豆的觀察

生豆顏色偏綠，在烘焙二爆開始相較其他產地出油比較多。



圖 36 生豆

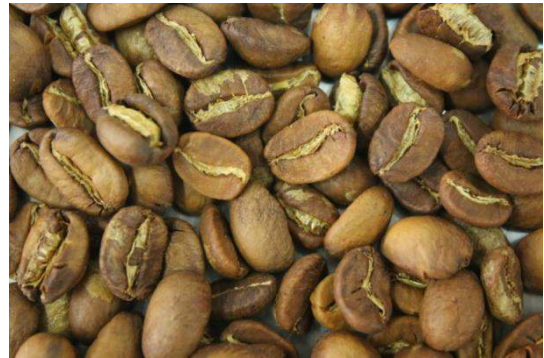


圖 37 一爆開始



圖 38 一爆結束



圖 39 一爆至二爆間



圖 40 二爆開始



圖 41 二爆結束







1.3 不同烘焙程度，咖啡因與單寧酸的影響

烘焙程度	一爆開始	一爆結束	一爆與二爆間	二爆開始	二爆結束
咖啡因	0.22g	0.22g	0.24g	0.25g	0.27g
單寧酸	5.88g	5.82g	5.87g	3.51g	3.16g
時間	9分21秒	11分25秒	12分57秒	13分38秒	15分05秒
減重率	6.37%	9.06%	11.56%	16.45%	19.62%

陸、結論

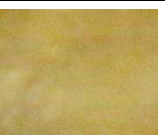










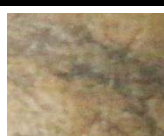






1.外觀的差異

1.1 生豆差異：

咖啡種類	巴西	哥倫比亞	印尼	東帝汶	衣索匹亞	台灣
生豆顏色						
平均重量 (g/顆)	0.17g	0.21g	0.23g	0.17g	0.07g	0.21g
RGB	(182,175,108)	(132,134,76)	(90,86,50)	(102,100,48)	(185,160,85)	(145,151,116)

就生豆部分，衣索比亞的日曬豆大小稱差不齊，平均質量較小，印尼顏色較深，而台灣豆飽滿偏綠色，東帝汶的咖啡豆則有一種特別的藍色。

1.2 熟豆差異：

咖啡種類	巴西	哥倫比亞	印尼	東帝汶	衣索匹亞	台灣
一爆開始 顏色						
平均重量 (g/顆)	0.14g	0.17g	0.20g	0.16g	0.13g	0.19g
RGB	(191,168,98)	(150,123,72)	(74,58,34)	(157,134,93)	(173,130,64)	(150,110,66)
一爆結束 顏色						
平均重量 (g/顆)	0.15g	0.18g	0.19g	0.16g	0.13g	0.18g
RGB	(156,132,67)	(155,135,74)	(140,106,58)	(151,123,83)	(143,107,42)	(112.103.86)
一爆到二 爆之間顏 色						
平均重量 (g/顆)	0.14g	0.16g	0.17g	0.16g	0.15g	0.18g
RGB	(124,111,67)	(149,121,80)	(112,97,63)	(142,107,68)	(114,96,43)	(114,83,44)

二爆開始 顏色						
平均重量 (g/顆)	0.14g	0.16g	0.16g	0.15g	0.14g	0.17g
RGB	(115,82,20)	(136,116,87)	(100,93,70)	(119,94,60)	(106,83,49)	(114,108,76)
二爆結束 顏色						
平均重量 (g/顆)	0.13g	0.14g	0.15g	0.14g	0.13g	0.17g
RGB	(63,69,58)	(40,41,31)	(62,58,49)	(51,38,31)	(39,33,27)	(55,48,42)

從 RGB(紅綠藍顏色)分析來看可以發現所有品種的豆在二爆開始後顏色才開始急遽變深，推測此時咖啡豆開始碳化，另外從一爆結束之前，大小變化很大，主因是這時段主要是脫水作用所造成。

1.3 失重率的比較

以烘焙程度 1 到 5 為一爆開始、一爆結束、一爆至二爆間、二爆開始及二爆結束五種不同的程度。

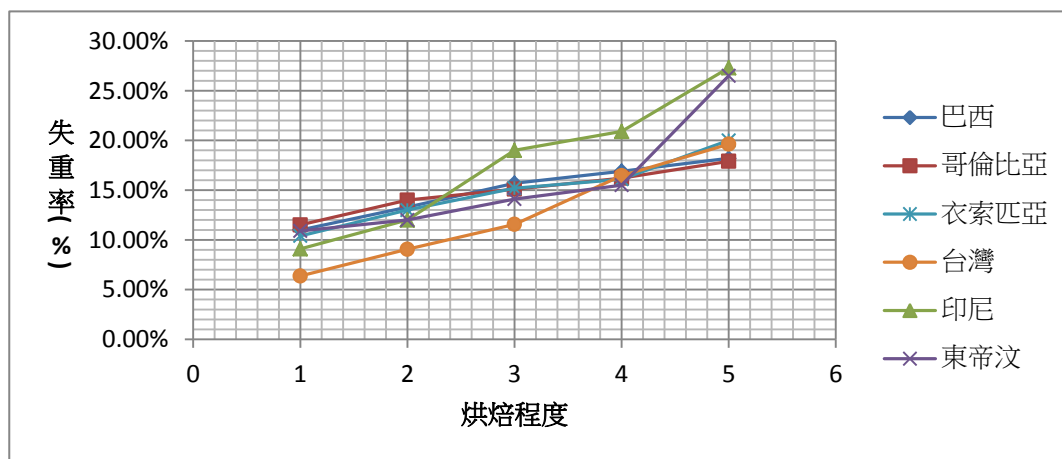


圖 54 烘焙程度對咖啡豆失重率的影響

可以發現在烘焙程度4開始，也就是第二爆之前，咖啡豆快速膨脹後，咖啡的香味才開始顯現，可以發現醣類、胺基酸及脂質都開始發生降解反應，化合物間並發生梅納反應及史崔克隆降解反應。從圖54可以發現巴西、衣索匹亞、哥倫比亞豆失重率較低，印尼與東帝汶失重率較高，尤以印尼豆為最。由後來的實驗得知，**烘焙溫度**越高也造成失重率越高。而台灣古坑豆從一爆開始可以發現失重率最小，從烘焙的時候發現掉下來的銀皮量很少也可以預見這個情形。

1.4 烘焙時間的比較

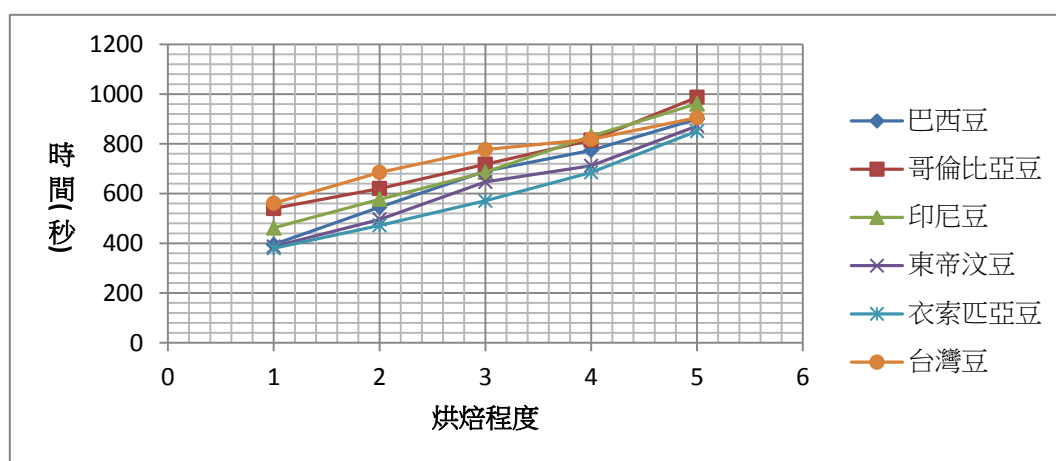


圖 55 烘焙程度對應不同的時間

就烘焙時間可以發現，第一爆時間較第二爆時間較短，且可以發現台灣、哥倫比亞及印尼的烘焙時間較長，可能是其發育時間較長(台灣豆生長約7個月採收)，成熟度高，一開始所需烘焙的時間也隨之變長之故。另外可以發現衣索比亞豆烘焙時間最短，可以發現日曬豆所需的時間比水洗豆短，可能跟日曬的方式令含水量較少有關。

1.5 產地的比較

產地	巴西 喜拉朵省	哥倫比亞 那玲瓏省	印尼蘇門達 臘 林東省	東帝汶 Ermera 省	衣索匹亞 西達摩省	台灣 古坑
雨量	1600~1800mm	2000~3000mm	2000~2200mm	1800~2000mm	1000~1400mm	1300~1500mm
海拔	850~1200 公尺	1758~2100 公 尺	1780~2600 公尺	1000 ~ 3000 公尺	1950 公尺	600~700 公尺
平均 溫度	18°C~22°C	11°C~18°C， 溫差 7°C 以上	28°C	26°C	15~25°C	14°C~28°C
土壤 狀況	火山土壤(風 化後玄武岩)	火山土壤與 帶礫石的土 質	火山土壤	火山土壤	火山土壤	礫石與沙土

(參考資料：愛豆網、歐舍咖啡同學會與咖啡豆老闆)

2.不同產地下，不同烘焙程度其咖啡因與單寧酸的影響分析

對咖啡因來說，綜合實驗表示如下：

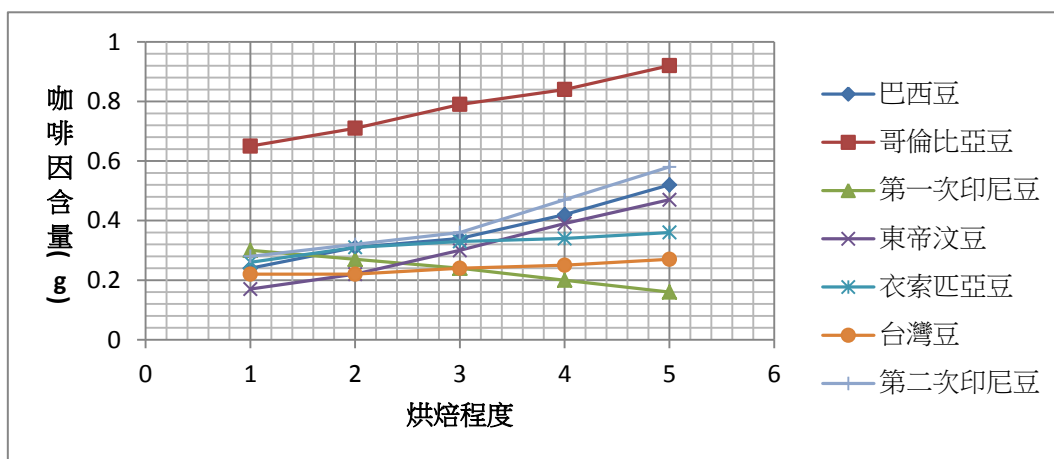


圖 56 不同產地在不同烘焙程度對咖啡因的影響

在查詢資料中，烘焙程度對咖啡因多寡來說，各有各的說法與支持者，但我們從實驗數據發現，台灣咖啡豆的咖啡因含量較少，推測與其非火山土壤有關，還有除了印尼的曼特寧

以外，烘焙程度越深，咖啡因越多，推測第一爆時水氣與內容物化學反應產生的二氧化碳首先破壞細胞壁，持續高溫烘焙之下，接下來是因受熱咖啡的外殼與細胞壁破壞更多，讓咖啡因更容易跑出來。但發現印尼曼特寧的情況與其他品種的豆剛好相反，綜合可能的原因發現，實驗過程中是固定卡斯爐熱量的提供，所以溫度會因產生銀皮的時候而不固定，而印尼曼特寧整個烘焙情況是溫度一直維持在240°C之上，其他產地大概在200~230°C之間，就文獻得知(洪嘉澤，2006)，咖啡因超過240°C時咖啡豆內部開始進行裂解反應，所以我們懷疑是實驗過程溫度過高而導致此異常現象。

所以我們就針對印尼曼特寧異常的部分重新控制溫度而重做實驗，來了解曼特寧在溫度低於240°C下是否也與其他產地一樣，烘焙程度越高，其咖啡因也增高，其實驗比較如下：

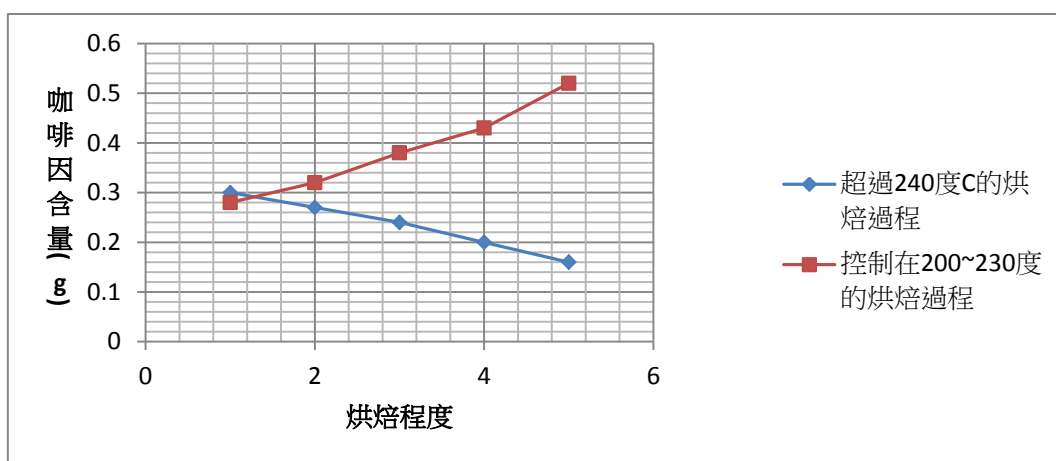


圖 57 印尼曼特寧在不同烘焙溫度不同烘焙程度對咖啡因的影響

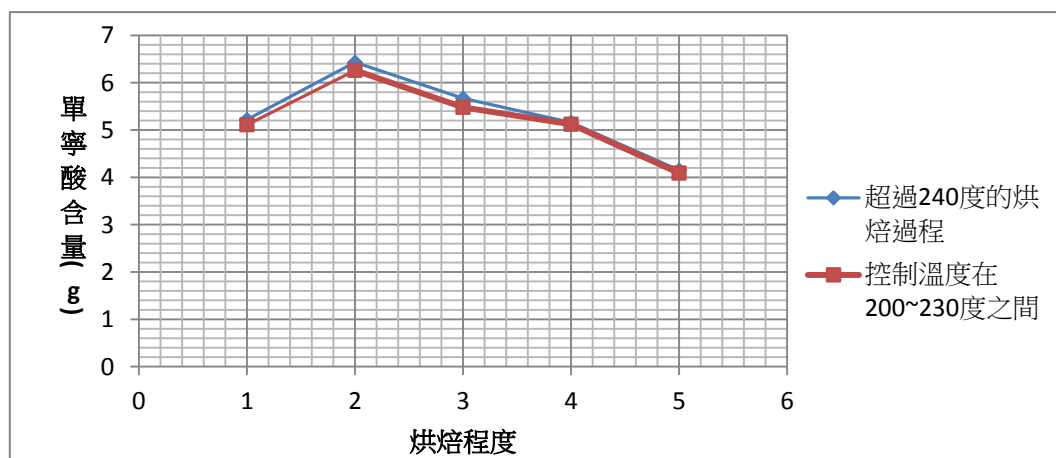


圖 58 印尼曼特寧在不同烘焙溫度不同烘焙程度對單寧酸的影響

從圖57可以很清楚了解，咖啡因會在溫度太高的環境下被破壞，控制溫度後，曼特寧的咖啡因對烘焙程度的趨勢也與其他產地相似。可以從產地的資料參考發現，六種咖啡豆產地中，日夜溫差較大的環境，對咖啡豆的成長較好，同樣也提供比較多的養分，使得咖啡因相對較高，另外平均溫度較低的巴西與哥倫比亞也可以發現咖啡因較高。

解決印尼烘焙情形是因為溫度太高而造成咖啡因的破壞後，那麼可以發現除了巴西外，咖啡因相對較多的前三名都是雨量較多的產地，而巴西咖啡豆成長快，生長在降雨量集中的季節，所以很難以平均降雨量判斷，或許以月平均降雨量來看比較準。

再從圖58的單寧酸來判斷，可以發現在200~260°C的烘焙過程，對單寧酸變化似乎沒有太大的影響，只有影響到咖啡因。

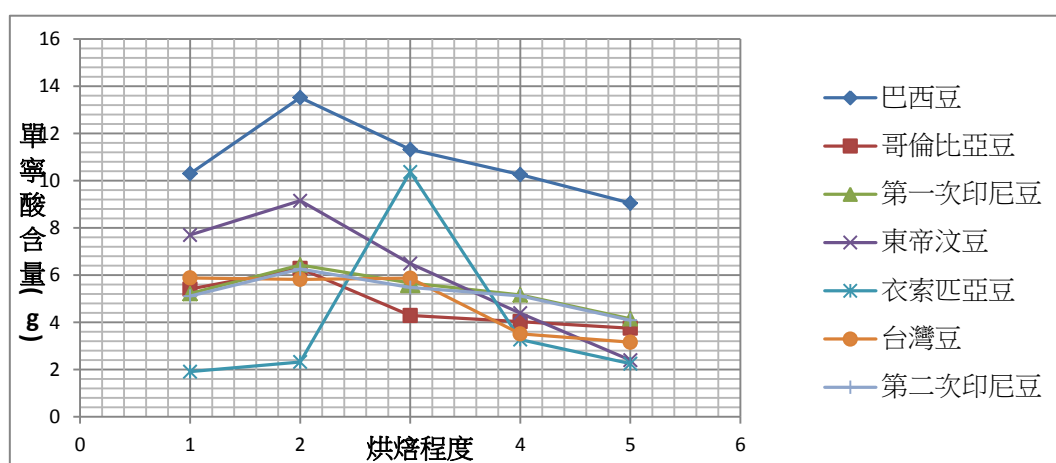


圖 59 不同產地在不同烘焙程度對單寧酸的影響

由圖59來觀察，可以發現大部分單寧酸是從一爆結束開始變高，原因可能是破壞細胞壁之故，接下來隨著烘焙程度越深單寧酸越來越少，可以在文獻中了解單寧酸受熱會降解為焦梧酸(黃國棟，2003)，符合文獻烘焙越深單寧酸越少的情況，而巴西豆是單寧酸含量最高，可以推測巴西是因生長快速導致細胞壁較脆弱，所以一爆結束，水就大量散失，而使單寧酸相對重量變高，對於衣索匹亞，主因類似，不過是因為日曬的關係，其水分含量相對較低，當水大幅減少時，會使單寧酸相對含量大幅增加，同時也發現除了衣索匹亞在一爆與二爆間才開始發生烘焙越深單寧酸越少的情況，其餘都是在一爆結束才開始單寧酸下降。

3.不同研磨刻度下，咖啡因與單寧酸的影響

就巴西豆來判斷不同刻度下，咖啡因與單寧酸的差別：

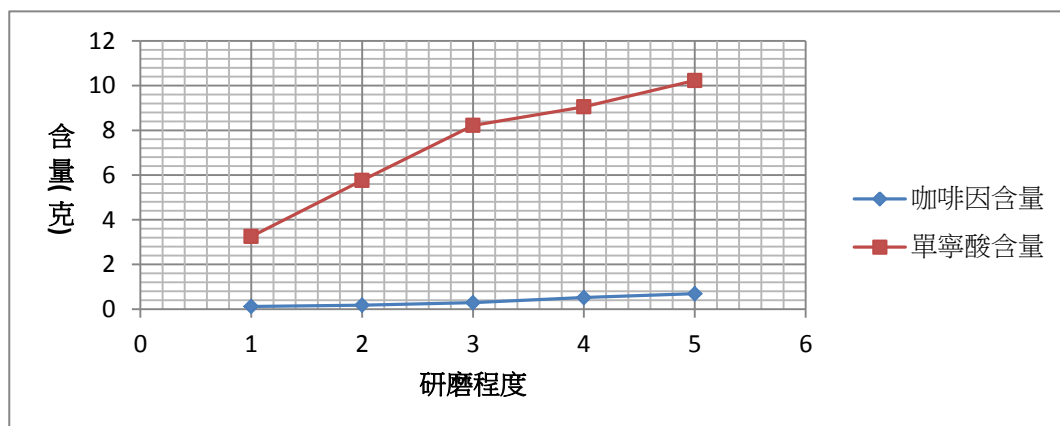


圖 60 不同研磨刻度對咖啡因與單寧酸含量的影響

就咖啡研磨器來說，每退一格就會使研磨的程度更細一點，也可以發現研磨越細，咖啡因與單寧酸溶出來的越多，但對咖啡因來說，研磨到四以後，溶解的情況減緩，表示對咖啡因含量來說，對咖啡豆本身應該是蠻少的。

4.不同沖泡溫度下，咖啡因與單寧酸的影響

就巴西豆來判斷不同沖泡溫度下，咖啡因與單寧酸的差別：

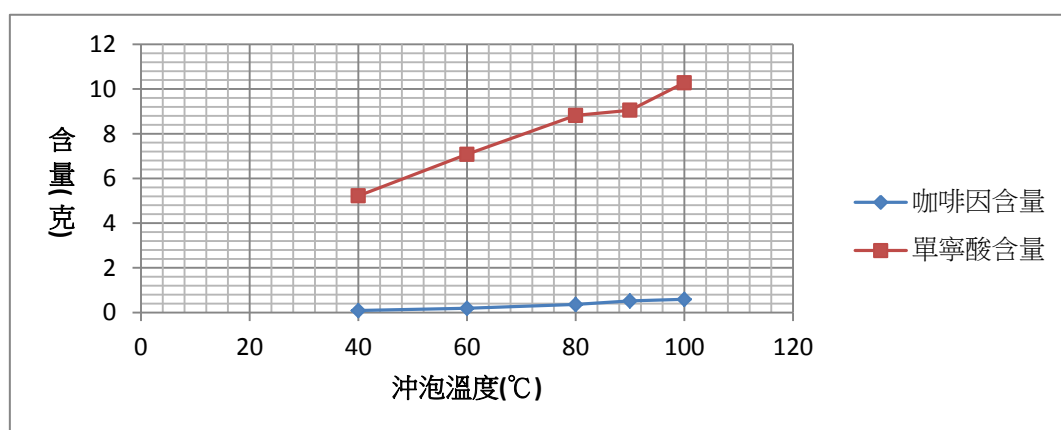


圖 61 不同沖泡溫度對咖啡因與單寧酸含量的影響

對巴西豆來說，沖泡溫度越高，咖啡因溶解的量也越多。但可以發現在 80°C 以上時，其咖啡因溶解的速度有加速的情況，推測在 80°C 以上某些化學物質也開始隨之反應或溶解。另

外針對單寧酸來看，溫度越高，其單寧酸也越多，也越澀。

5. 水洗與日曬的咖啡豆對咖啡豆咖啡因與單寧酸含量的影響

其中水洗的咖啡豆除了台灣以外，巴西、哥倫比亞、印尼、東帝汶這四種水洗豆與衣索匹亞西達摩的日曬豆來做比較，由圖 56 可以發現日曬豆的咖啡因較低且變化不大，可能的原因是在日曬過程已將咖啡因以長期高溫曝曬的情形下先行破壞，且造成咖啡生豆的水分含量較水洗豆來的少，因此造成水洗豆的咖啡因就比較高。而咖啡因含量最少卻是台灣咖啡豆，最有可能的因素是土壤唯一不是火山灰土壤，而是一般的礫石與砂石，雖然排水性佳，但土壤中的礦物質比火山土壤相對較少，也因此咖啡因與單寧酸含量是所有產地最少的。

6. 沖泡的時間對咖啡豆咖啡因與單寧酸含量的影響

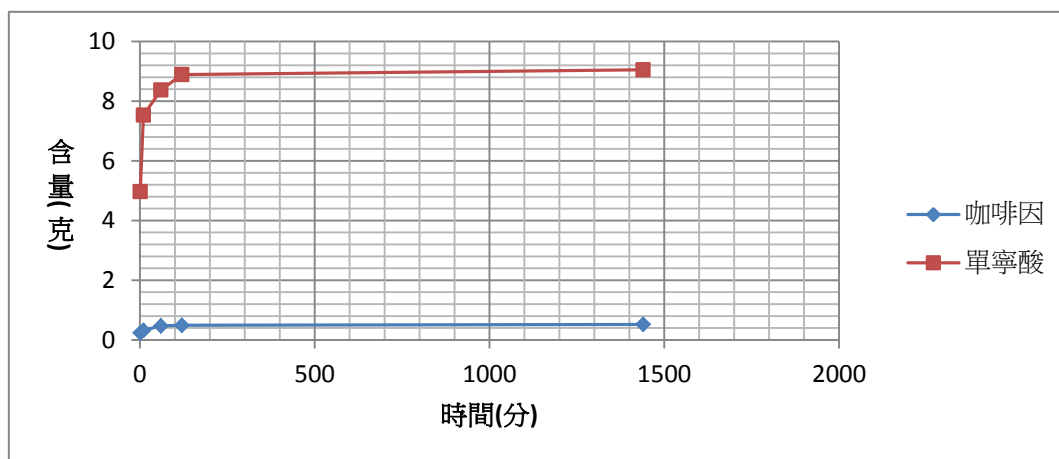


圖 62 不同沖泡時間對咖啡因與單寧酸含量的影響

可以發現時間越長，其咖啡因與單寧酸含量會越高，咖啡因本身含量不高，而單寧酸含量較多，到 2 小時後可以發現變化開始減緩的情形。

柒、未來展望

對於台灣的咖啡人口日以遽增，咖啡的味道一直是很微妙的變化，而且隨著咖啡豆烘焙器具取得越來越方便，在家自行烘焙咖啡豆的人口數也越來越多，從我們實驗中針對不同產

地咖啡豆以不同烘焙的程度來探討咖啡因以及單寧酸含量，更加以利用不同的沖泡時間及咖啡豆研磨程度上的不同，來探討咖啡因以及單寧酸的含量，所得結果得知因為不同產地咖啡豆的成分不同且加上不同烘焙程度皆會而使得咖啡豆產生相當豐富的化學變化，咖啡風味也與咖啡粉的粗細及種類以及沖泡的方式息息相關。

希望能以這六種市面上常見的咖啡豆，經本實驗從不同烘焙程度及沖泡手法所獲得咖啡因、單寧酸含量的實驗數據，可以讓喜歡在家烘焙以及自行沖煮咖啡的人，能作為烘焙咖啡生豆以及沖泡手法上的參考，利用科學方法來找到最適合自己的咖啡，來達到個人喜好的咖啡風味或是想要咖啡因含量的多寡，都可以參考我們的實驗來調整個人的需求。而在未來研究上，我們建議可以直接測量咖啡生豆烘焙過程中，咖啡焦糖化的程度來當做烘焙程度的測定，以取代本實驗中以顏色作為烘焙程度的檢定，將可提高實驗的準確度。另一方面，因為我們自行設計組裝的烘豆機無法控制準確控制溫度，我們只能以一穩定溫度來觀察不同的烘焙程度，將來研究若能改善烘豆機，以不同穩定溫度烘焙不同產地的咖啡生豆，再針對咖啡因、單寧酸進行研究，加上未來研究若能針對影響咖啡酸味的綠原酸進行分析，並與咖啡因、單寧酸進行交叉比對的話，相信對泡咖啡科學化這件事更能更進一步的深入了解。

捌、參考資料

- 1、田欣禾、邱意翔、羅玉佳，熬夜聖品-咖啡因之探討，第50屆全國科展。
- 2、吳冠逸、范珉甄，我要不酸的咖啡!!影響咖啡酸度的因素，第46屆全國科展。
- 3、洪嘉澤，2006，咖啡烘焙油煙化學物種鑑定分析，大葉大學食品工程研究所碩士論文。
- 4、黃國棟，2003，焙炒條件對咖啡豆香氣形成影響之研究，國立屏東科技大學食品科學系在職碩士班碩士論文。
- 5、歐舍咖啡。2015年3月17日 擷取自 歐舍咖啡: <http://coffeeclub.orsir.tw/>
- 6、愛豆網。2015年3月12日 擷取自 愛豆網: <http://www.idou.com.tw/>

【評語】 030322

1. 實驗架構完整，能夠掌握實驗的變因操弄來探討不同的烘焙坊是對於咖啡因、單寧酸的含量比較。
2. 自備烘豆器，值得鼓勵；但是在烘豆器的恆溫控制上說明較為含糊，建議可再加強加熱恆溫設計的機制，會使實驗更加完整。
3. 單寧酸的含量分析使用與醋酸鉛所形成的沉澱物進行定量分析，可是在咖啡萃取液中可能具有其他能與鉛離子結合的物質，不一定全為單寧酸。建議未來可再尋找更準確的定量方式進行分析。