

# 第十七屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA17-074

作品名稱：發酵咖啡豆之官能特性研究

姓名：沈冠恩

關鍵字：咖啡、成分分析、褐變反應

## 壹、研究題目

### 發酵咖啡豆之官能特性研究

#### 摘要

本研究的目的是要利用不同的處理條件在烘焙後產生不同程度的褐變反應，透過手機光譜儀和手機顯微鏡等自製儀器的快速分析，探討其對對浸泡式咖啡之影響，並能開發一套簡單而迅速的分析方式來進行量化分析數值，降低自製咖啡業者之產品開發成本。研究結果顯示，單一菌種發酵的咖啡粉末，其粒徑顯著的大於其他各組，而複合菌種發酵的咖啡粉末，其粒徑和未處理組沒有顯著差異。透過手機光譜儀，可以看出商業咖啡有兩個主要的吸收波峰(430 nm 與 620 nm)，隨著產品顏色的越來越深，褐變反應的部分波峰越來越高，顯示本法可以協助判斷褐變反應的程度。透過手機光譜儀的分析，本研究中較佳的烘焙條件是上火 250 度/下火 230 度。複合菌種水解 60 小時後，仍能產生較具苦味的咖啡，單一菌種水解 60 小時，褐變反應顯著減少，較適合產製偏酸性的咖啡。二氧化碳與酸鹼值偵測器可以判斷咖啡處理條件是否合宜，其中以養樂多發酵的咖啡粉較佳，而色差分析器則可以顯著的分辨四種不同烘焙程度的咖啡粉。利用 3D 印表機和 Arduino®晶片，我們撰寫程式，設計出一可更換並且密閉的咖啡特性測定裝置。

關鍵字：咖啡、成分分析、褐變反應

Developing of analysis procedures for the functional properties of fermented coffee beans

#### Abstract

The present studies were focused on the browning reactions and microstructure of different lactic bacterial hydrolysis on coffee bean. Using cell phone microscopy and spectrometer, we developed series procedures for the suitable baking conditions. Mixing of different bacterial can keep the browning reactions and microstructure within the untreated coffee bean. The cell phone spectrometer can serve as a sensitive detector to the browning reaction in 430 nm and 620 nm. The absorption peaks in 430 nm were increased by the darker browning color in coffee solutions. After 60 hours hydroxylation, the single lactic bacterial can reduced caramelization reactions within 430 nm peaks and 620 nm peaks. Carbon dioxide and pH detectors could distinguish CO<sub>2</sub> concentration and pH of coffee powder and the Yakult® treated coffee showed the best one. The color difference detector showed its ability to find out the four various coffee powders. Using 3D printer, a closed box which can adapt removable Arduino® detectors with functional properties of coffee were made.

Key words: coffee , functional properties analysis, browning reaction.

## 貳、研究動機

咖啡除了是世界上三大主要飲料之一外，而且被證明對人體有許多好處，諸如：咖啡使人精力充沛，且讓你更聰明、幫助燃燒脂肪、減少罹患糖尿病的風險、預防阿茲海默症、具護肝效果、打擊憂鬱症、較不易罹患癌症、預防心臟病及減少中風機會而且咖啡是西式飲食中最主要的抗氧化劑來源，抗氧化劑已經被證明對多各種疾病都有預防的效果(張，民 103)。所以在台灣地區，咖啡的攝取量也逐年快速增加中，根據謝(民 104)的研究指出，台灣民眾消費咖啡的克數，從民 101 年到民 86 年，每人平均多四百多克。產豆少的台灣，消費絕大多數仰賴進口。目前台灣進口咖啡豆約四十萬包(一包六十公斤)，已是早期的四倍(圖 1)。其中，生豆進口成長最快。這代表著愈來愈多台灣民眾進口生豆後，自行調整烘焙條件，發展出具有台灣本土咖啡風味的產品。(圖 2)

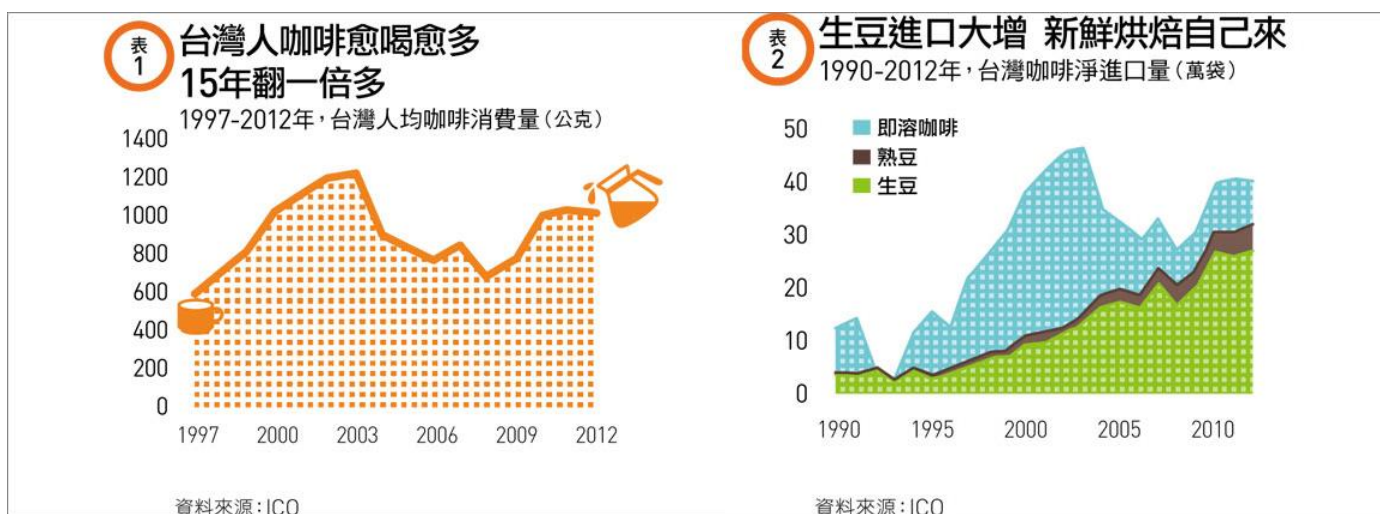


圖 1 台灣人均咖啡消費量圖

圖 2 進口咖啡量種類比率圖

隨著咖啡的產品需求，可分為義式、法式，深城市，城市，濃度，微中，肉桂與淺度烘焙等相關等級，影響咖啡豆烘焙品質的主要因素有以下幾點：1.溫度，2.時間，3.咖啡豆的種類，4.咖啡豆的新舊。美國精品咖啡協會(SCAA)建議以紅內線測定的焦糖化分析數值(Agtron number)來判定烘焙程度，其數值從 0 至 100，數值愈高表示焦糖化低、色澤灰白、烘焙愈淺，而測定數值低就代表焦糖化程度高、色澤黑亮、烘焙愈深。一般認為，咖啡烘焙過程中，主要是其中的蔗糖產生焦糖化反應，主導了咖啡色澤的深淺，但是咖啡豆中富含的蛋白質，也會提供胺基和醣類的羧基，經過加熱後，產生梅納反應，加強了顏色的反應，所以，這兩種反應都需要醣類，生豆中所含的蔗糖，提供這兩種反應所需的材料。先前的研究也指出蔗糖含量與咖啡豆風味有著正向的相關性。阿拉比卡種咖啡豆之蔗糖含量在生豆時是羅布斯塔的兩倍，這可能是台灣民眾較喜歡飲用阿拉比卡種的咖啡原因之一。以下列出兩種主要在咖啡烘焙過程中的色澤產生反應的反應式：

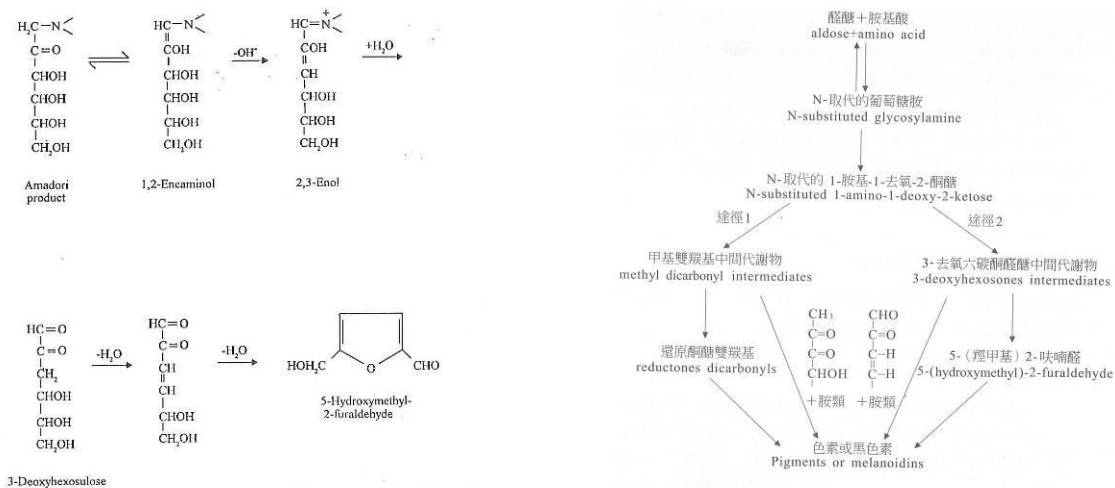


圖 3 常見褐變反應之反應式。(左)焦糖化；(右)梅納反應

咖啡的標準製作流程，是採用水洗後，去除果肉，再日曬去除內皮層，最後粉碎外皮，取得咖啡生豆。但是，有一種所謂的麝香貓咖啡，是利用動物消化道發酵的過程取得咖啡豆，咖啡櫻桃經過麝香貓的消化，分解咖啡果實和咖啡豆中的蛋白質，產生具有甘味的胺基酸，減少咖啡的苦澀味，讓咖啡的口感會圓潤和回甘。在歐美，麝香貓咖啡豆售價高達新台幣 2 萬多元，每杯價格高達 2400 元，是全世界最昂貴的頂級咖啡。但是有研究指出，野生或人工養殖的麝香貓所生產的麝香貓咖啡，因採集動物排泄物，不僅不人道也易有感染的風險，尤其是人工養殖的麝香貓為了增產，過度密集飼養，集體傳染疾病的風險更高。蘇(民 105)的報導指出，有學者利用麝香貓腸道的菌落，分離出數種可食用的益生菌，經過大量培養後，將咖啡豆經益生菌發酵後，改變蛋白質產生糖、短肽和許多的自由胺基酸，降低咖啡豆的苦澀味及咖啡因，讓發酵的咖啡豆散發出香醇口感，不苦不澀。所以可以利用乳酸菌，酵母菌和其他腸道有益菌(如比菲德氏菌等)，模擬麝香貓腸道的狀況，水解咖啡豆的蛋白質成為具有特殊風味的胺基酸，生產類似麝香貓咖啡的風味的產品。

常用的顏色差異分析，是直接利用一個與設備無關的三度空間，分別定義 RGB(紅藍綠)為空間的三個座標軸，透過簡單的歐氏距離計算其和標準品的顏色在空間內的距離而得出的(其計算公式如下)。而此 RGB 數值可利用 Arduino 的顏色感測模組，經過撰寫程式並進行適當的修正，即可快速的算出咖啡產品和市售商品顏色上的差異。

$$juli = \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (B_2 - B_1)^2}$$

其中 R 為紅色，G 為綠色，B 為藍色

目前較常用的咖啡焦糖化分析數值的紅內線光譜儀器，都需要近四五萬元，對初學者而言，是很大的進入門檻。如果能利用簡單的或是低成本的實驗設備來探討褐變反應的進行，進而發展出一套可供初學者使用的咖啡功能特性分析裝置，對台灣咖啡自創品牌，將有相當的貢獻。

## 參、研究目的

本研究的目的是要利用不同的乳酸菌單獨或是和不同的食用菌種之組合，對羅布斯塔種的生豆進行水解反應，進而在烘焙後產生不同程度的褐變反應，透過手機光譜儀和手機顯微鏡的快速分析，探討其對咖啡豆或是浸泡式咖啡之顏色影響，希望能開發一套簡單而迅速的分析方式來進行褐變數值分析，降低自製咖啡業者之產品開發成本。茲條列如下

- (1) 不同菌種的組合對咖啡豆褐變反應的影響
- (2) 褐變反應的檢定方法開發
- (3) 撰寫程式與開發檢定儀器，計量咖啡粉的二氧化碳、pH 值與顏色上的差異。

## 肆、研究方法

### 一、使用材料：

1. 咖啡豆：羅布斯塔種，產地為印尼，購自本地廠商。
2. 市售乳酸菌飲料：有傳統養樂多、LP33、比菲多(原液)、AB 優酪乳等，購自本地廠商。
3. 玻璃瓶：台製。
4. 濾紙：寶馬牌，購自本地廠商。
5. 試飲杯：台製。
6. 咖啡因：Alfa aesar 製，美國，純度 99%，購自友和化工。

### 二、使用器材：

1. 烤箱：LOT305C，獅子心公司，台灣。
2. 食物處理器：飛利浦牌，台灣
3. 咖啡濾杯：台製。
4. 電子秤：台製
5. 驗鈔筆與可見光鹵素燈：台製。
6. 3D 印表機：CST-Delta BOT V101-T 3D 列印機，台灣。
7. 微量反應晶片：某大學教授提供，學生自行組裝。
8. 塑膠吸管：台製。
9. 自製微量吸管：某大學教授提供，學生自行組裝。
10. 手機顯微鏡與接物測微計：某大學教授提供，學生自行組裝。
11. 手機光譜儀模組：某大學教授提供，學生自行組裝。
12. 簡易離心機：手持式電鑽，台製；轉盤與離心管由某大學教授提供，學生自行組裝。
13. 二氧化碳感測器模組：MG811，台灣物聯科技有限公司，台南。
14. pH 值檢測器+溫度感測器模組：台灣物聯科技有限公司，台南。
15. 顏色感測模組：台灣物聯科技有限公司，台南。
16. 商用咖啡：不同烘焙程度的商業咖啡產品(如上圖)，均購自市售商品。





烤箱



食物處理器



濾紙與咖啡濾杯



電子秤



咖啡過濾中



驗鈔筆



本研究使用羅布斯塔種咖啡豆



離心管(左)，電子秤(中)，自製離心機(右)

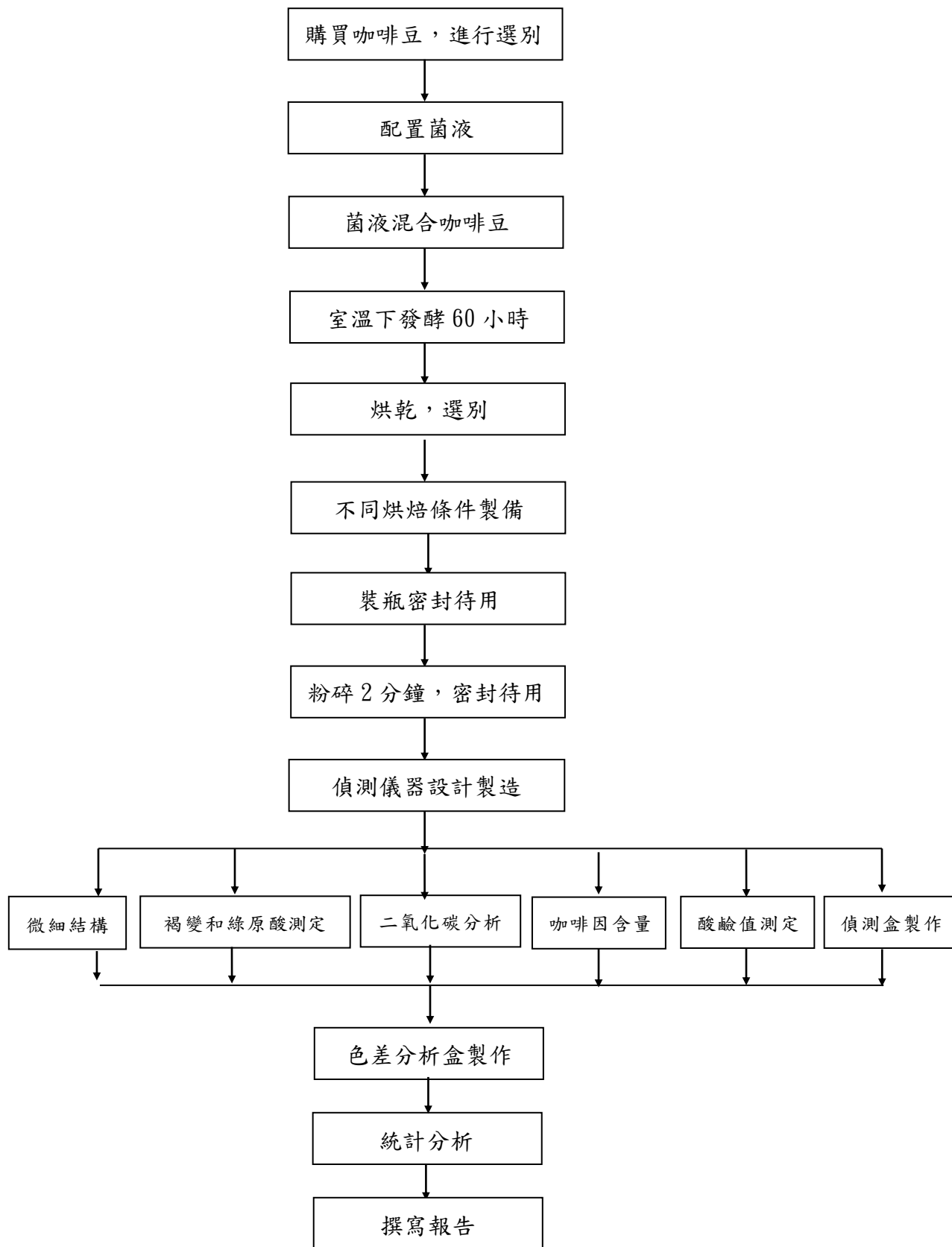


圖 4 本研究的實驗流程

### 三、實驗步驟：

#### (一)模擬麝香貓腸道之水解反應：

秤取 400 克的咖啡生豆，加入清水 200 ml 或是市售乳酸菌液(未稀釋)200ml，鎖好蓋子，放在紙箱中，於室溫下進行水解發酵反應 60 小時，取出後用水洗去殘留之乳酸菌液後，裝載封口袋中，冷凍 24 小時。取出冷凍的發酵咖啡豆，在 200 度下烘烤 40 分鐘以去除水分，放涼後，裝載封口袋中，冷藏 24 小時。

#### (二)烘焙過程：

- 1.對照組：將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 2.上火大下火小組：將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱中，在上火 250 度下火 230 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 3.上火小下火大組：將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在上火 230 度下火 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 4.只開上火組：將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱中，在上火 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 5.清水組：將只泡好清水的咖啡豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 6.活組：將市售比菲多(原液)作為乳酸菌液水解處理咖啡生豆後，將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 7.比組：將市售比菲多活益作為乳酸菌液水解處理咖啡生豆後，將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 8.LP33 組：將市售 LP33 益敏優多作為乳酸菌液水解處理咖啡生豆後，將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 9.養 t 組：將傳統養樂多作為乳酸菌液水解處理咖啡生豆後，將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。
- 10.AB 組：將 AB 優酪乳作為乳酸菌液水解處理咖啡生豆後，將咖啡生豆倒入旋轉桶中放入烤箱中，在 250 度下烘焙 35 分鐘，放涼後，裝入另一個玻璃瓶中密封。

(三)咖啡粉碎：以食物處理機取三分之一的咖啡豆倒入，打開開關後，均勻粉碎 2 分鐘，倒出後，收集到玻璃瓶中，重複前面動作直到全部的咖啡豆都被粉碎完成，鎖上瓶蓋，放在紙箱內於室溫下儲存。

(四)咖啡粉微細結構：利用顯微鏡觀察咖啡粉的微細構造，組好手機顯微鏡後(圖 5，左)，並先拍攝刻度尺作為度量單位，接著將咖啡粉取數十粒放在載玻片上，並採取上方燈源的模式，透過光線的反射，將咖啡粉的外觀以手機在相同放大倍率下，連續拍照觀察咖啡粉之粒徑大小，並以 Image J(NIH, National Institutes of Health, USA)之測量(江，民 106)。另外取不同烘焙程度的咖啡粉，將手機顯微鏡裝上不同倍數的物鏡，觀察咖啡粉中澱粉顆粒顏色變化的情形。手機為市售手機。(圖 5，右)



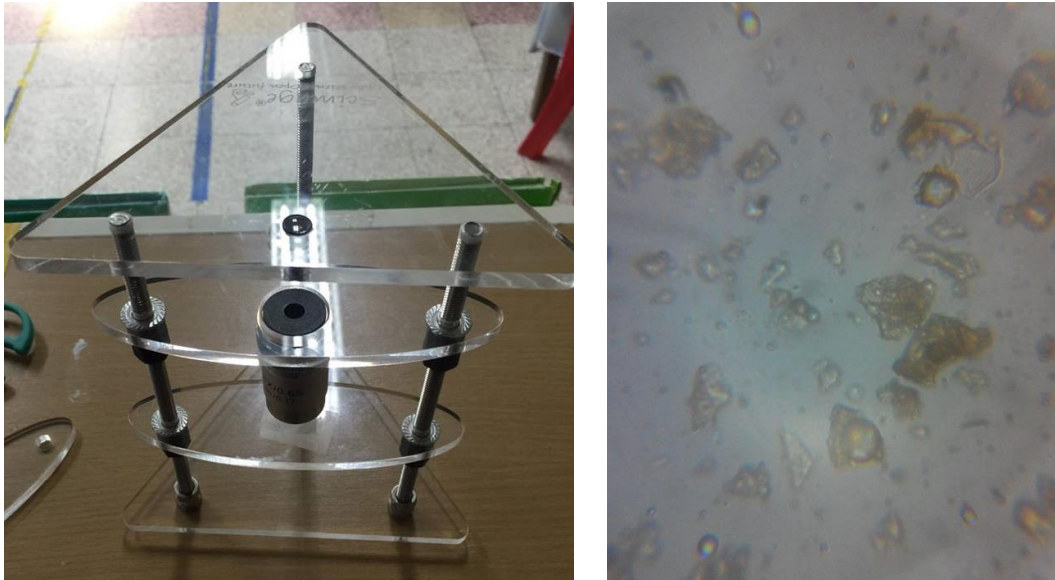


圖 5 手機顯微鏡(含 40X 物鏡。左圖)；商業咖啡的微細構造圖(40X，右圖)

(五)咖啡焦化程度測定：將咖啡粉和蒸餾水依據 1:10 的比例，利用浸泡法製作咖啡液，以吸管取適當重量咖啡液，倒入離心管中，並以自製離心機(江，民 106)，在 8000 rpm 下離心 1.5 分鐘，取上層液 3 ml 注入石英管中，並以蒸餾水做為對照組，利用圖 5 所示之手機光譜儀(江，民 106)拍攝不同處理的咖啡粉所製作的咖啡在可見光下的吸光圖譜，將圖譜利用 Image J(NIH, USA)軟體測量其吸光值後(N=10)，將平均值繪製吸收光譜圖，測量其 420 nm 之吸收波峰，吸光越高者，褐變反應越強，同時測定 650 nm 之吸收波峰，吸光越高者，綠原酸殘留越多。並以某商業咖啡作為正向對照組。另外，以微量吸管分別取 0.3 ml 與 0.3ml 的碘酒溶液，加入 I 型微流道中混合，反應 5 分鐘後，將反應溶液以微量吸管吸出，利用手機光譜儀並以可見光源進行雙重確認。手機為市售手機。

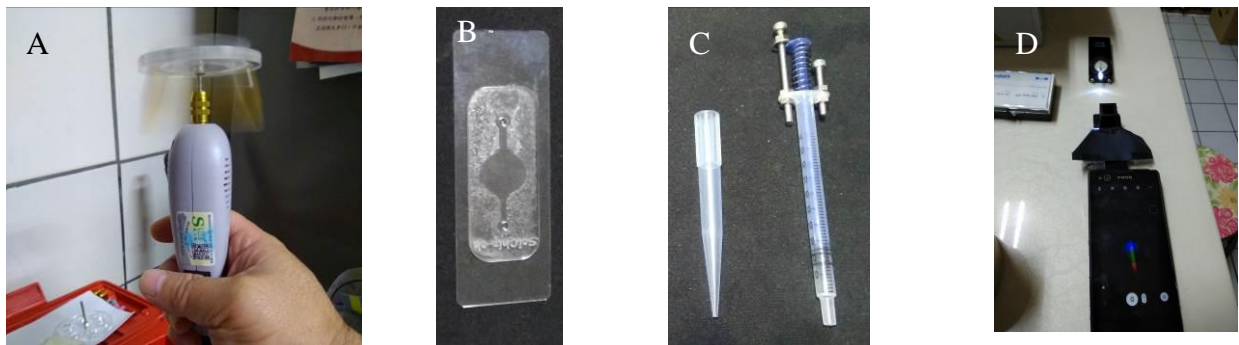


圖 6 自製離心機(A)；I 型微流道晶片(B)；微量吸管(C)；手機光譜儀(D)

(六)咖啡因含量測定：將咖啡粉和蒸餾水依據 1:10 的比例，利用浸泡法製作咖啡液，參考衛生福利部(民 106)的方法，將咖啡液離心後，取 3 ml 咖啡液注入石英管中，並以蒸餾水做為對照組，另外配置 2.5% 的咖啡因標準液，做為正向對照組，利用圖 5 所示之手機光譜儀(江，民 106)，光源改為驗鈔筆的紫外光，拍攝不同處理的咖啡粉所製作的咖啡液在紫外光下的吸光圖譜，將圖譜利用 Image J(NIH, USA)軟體測量其吸光值後(N=10)，將平均值繪製吸收

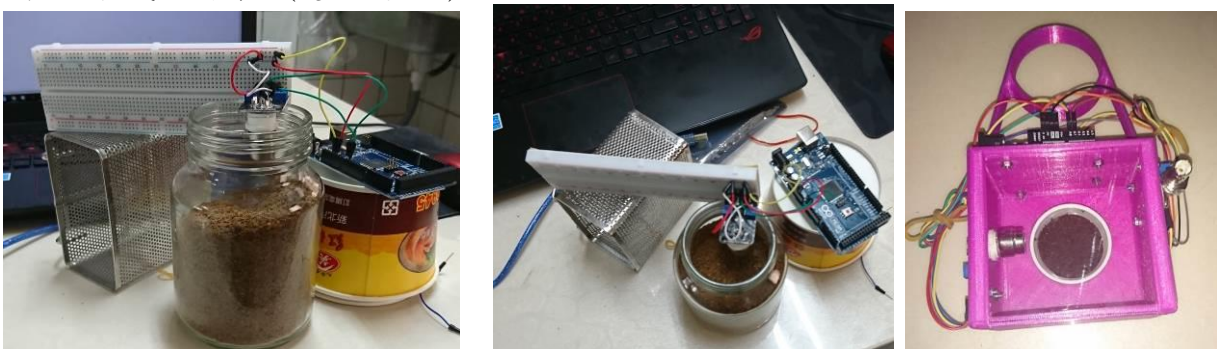
光譜圖，並以某商業咖啡作為負向對照組，探討其咖啡因含量。手機為市售手機。

改良圖 6 的手機光譜儀之連續手機光譜儀如圖 7，利用 webcam 代替手機鏡頭，緊密地貼在手機光譜儀的反射窗，提高觀察的精密度，光源改由螢光模組入射紫外光導入光譜儀中，透過咖啡溶液後，進入反射窗的分光稜鏡，分光後，利用手機上的 RvSciViewer 分析圖譜。



圖 7 模組化的手機光譜儀。螢光手機光譜儀側視圖 (左)；俯視圖(中)；可見光模組(右)

(七)二氧化碳含量：將二氧化碳含量偵測器(圖 12)裝設在 Arduino 晶片上，配線完成後，將控制二氧化碳偵測器的程式寫入後，調整取樣時間間隔為 2 分鐘，以市售咖啡為對照組，取 3 g 咖啡粉末放在玻璃瓶內，放入偵測器，從電腦中讀取玻璃瓶內二氧化碳的含量。裝置如下圖 8。程式如附錄。(趙，民 103)



前視圖

俯視圖

二氧化碳偵測盒

圖 8 二氧化碳含量偵測裝置

(八)咖啡液酸鹼值：將酸鹼值探針和溫度補償探針與晶片組合後(圖 10)，再與 Arduino 主晶片組合後，撰寫測量程式，先以市售 pH 4.0 與 pH 7.0 之標準液進行校正。然後，秤取本實驗的十種條件樣品各 10 克，並加入 100 g 沸水後利用浸泡法製成咖啡液，待放涼到室溫時，放入 pH 探針與溫度計，記錄產品的 pH 值三十次以上，平均後做為產品之酸鹼值。進行情形如圖 9。



圖 9 咖啡酸鹼值測定器(右)；pH 偵測盒量測情況



圖 10 本研究所使用之 Arduino®晶片。(左)CO<sub>2</sub> 偵測模組；(中)酸鹼值偵測

(九)3D 印表機製作偵測盒：經過我們討論之前的測定方法後，我們都覺得，製作一個固定晶片和偵測器的裝置，可以減少許多實驗誤差，所以，我們把這構想畫成設計圖，並以 Autodesk Inventor 撰寫 3D 印表機的程式，以聚乳酸(PLA)為線材(圖 11)，以 3D 印表機製作一個密閉的偵測盒，並且留有孔洞可以塞入偵測器(如 pH 電極)、咖啡粉的培養皿等，並將酸鹼值組、二氧化碳模組與顏色探測晶片等，架設並套入偵測盒後進行量測。



圖 11 PLA 線材(左)；3D 印表機(右)

(十)色差分析盒製作：將顏色探測晶片與 Arduino 主晶片組合後，撰寫測量程式，秤取深度烘焙、中深度烘焙，中度烘焙與淺烘焙等四個商業咖啡樣品 10 克後，倒入培養皿中(如圖 12)，放在顏色探測晶片的下方，關閉所有燈光來源，並以白紙作為對照組，取得樣品之三原色數值後，透過歐氏距離的計算，得出其與深度烘焙樣品的差異後，即可作為業者改進其烘焙條件之依據。進行情形如圖 13。

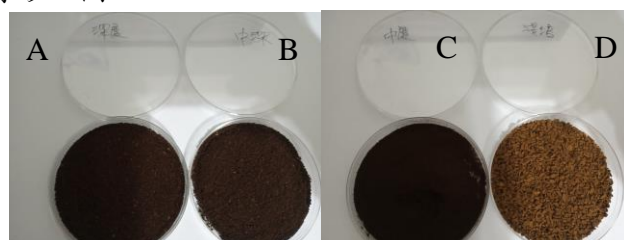


圖 12 不同烘焙程度的咖啡粉。(A)深度烘焙(B)中深度烘焙(C)中度烘焙(D)淺焙

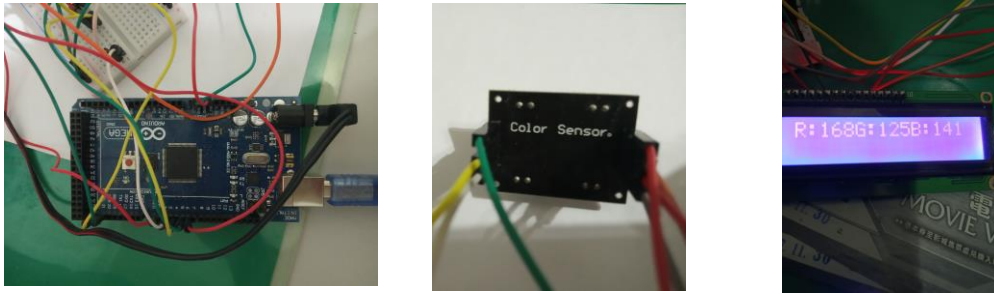


圖 12 色差分析模組 (右)Arduino 晶片;(中)顏色感測器;(右)RGB 數值測定中

## 陸、實驗結果

1.咖啡粒徑大小測量：(每個條件的觀察數 n=10)

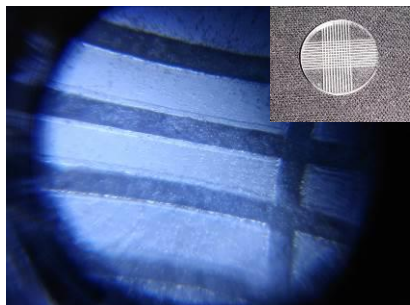


圖 1 刻度尺(一格=0.1 cm)



圖 2 市售咖啡粉(0.10 cm)



圖 3 清水組(0.29 cm)



圖 4 比組(0.42 cm)



圖 5 LP33 組(0.33 cm)

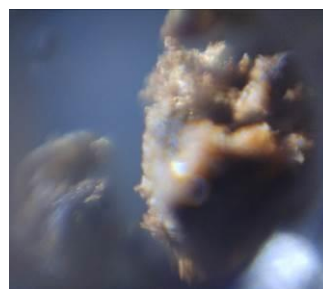


圖 6 養 t 組(0.80 cm)

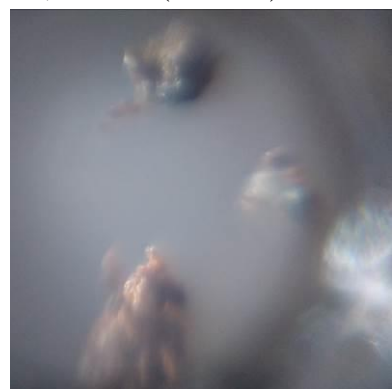


圖 7 AB 組(0.32 cm)



圖 8 活組(0.50 cm)

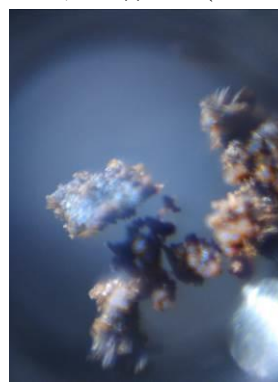


圖 9 上火大下火小組(0.33 cm)



圖 10 上火小下火大組(0.43 cm)



圖 11 只開上火組(0.31 cm)

從圖 2 可以看出，商業咖啡的顆粒大小(0.10 cm)顯著地小於實驗組( $p < 0.05$ )。對照上火大下火小與只開上火兩組的結果，我們可以看出，高溫處理的確在烘焙咖啡豆的時候促使內部氣體大量產生，使得咖啡豆容易膨脹，進一步導致粉碎時較容易被切刀打碎，使得顆粒變小，圖 10 是上火小下火大的情況，顆粒就明顯得較大(0.43 cm vs 0.33 cm)，雖然本研究所使用的烤箱內含轉筒，已經大幅減低此一情形，但是兩者對後續加工的影響非常明顯。後續的研究將利用此一結果，溫度固定在上下火都設定 250 度。

只利用清水浸泡的清水組(以下稱為對照組)，雖然水分有滲透進入咖啡生豆中，但是內部成分沒有受到微生物的分解，所以最後產生的粉末顆粒和未加菌種發酵各組之間沒有太大差異。其次可以從 LP33 組和 AB 組可以看出，採用複合菌種的兩組，其產生粉末顆粒大小與未浸泡組等三個樣品間無顯著差異，但是顯著地大於對照組，此結果顯示浸泡菌液對咖啡粉末顆粒大小有顯著的影響。

比組、傳統養樂多和活益比菲多兩組的顆粒大小顯著的大於所有的實驗組，這三組是採用單一菌種發酵的產品，這也說明了先前的研究結果，複合菌種發酵咖啡櫻桃所產製的咖啡，在官能品評效果較單一菌種為佳，本次研究的結果提供了一種技術，在烘焙完成後，立刻可以透過手機顯微鏡量測粉末的大小，即可判斷最終產製的咖啡可能的品質。

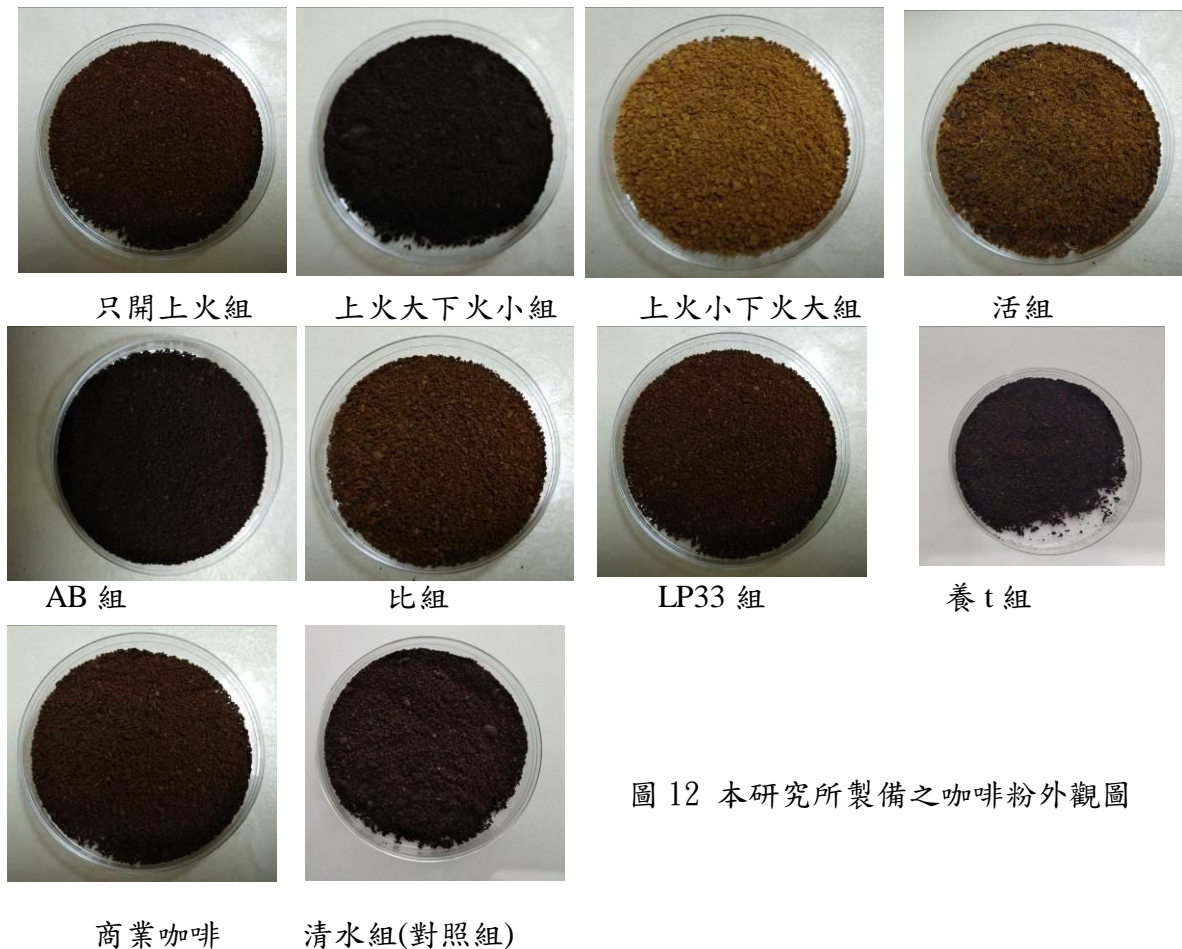


圖 12 本研究所製備之咖啡粉外觀圖

## 2.咖啡液的吸收光譜：

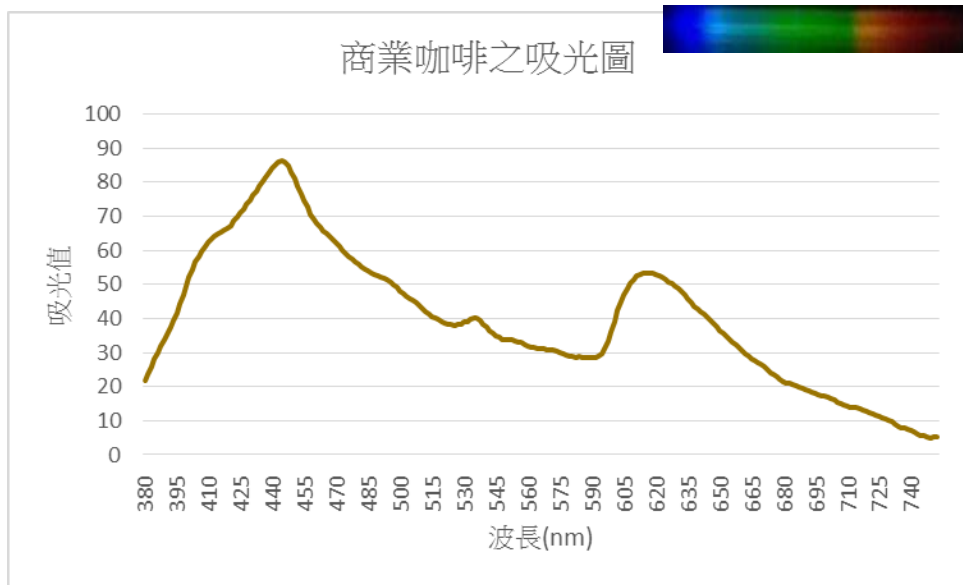


圖 12 商業咖啡液的吸光圖譜

從圖 12 可以看出，商業咖啡液在 440-450 nm 附近有一較大的吸收波峰，參考林等人(民 99)的研究，可以看出，此一波峰為褐變反應產物的吸收波峰，而 620 nm 附近的這一波峰，即為綠原酸的波峰；所以，手機光譜儀的確可以清楚的判別褐變反應的大小，協助烘焙咖啡業者快速量化地判定褐變的程度。

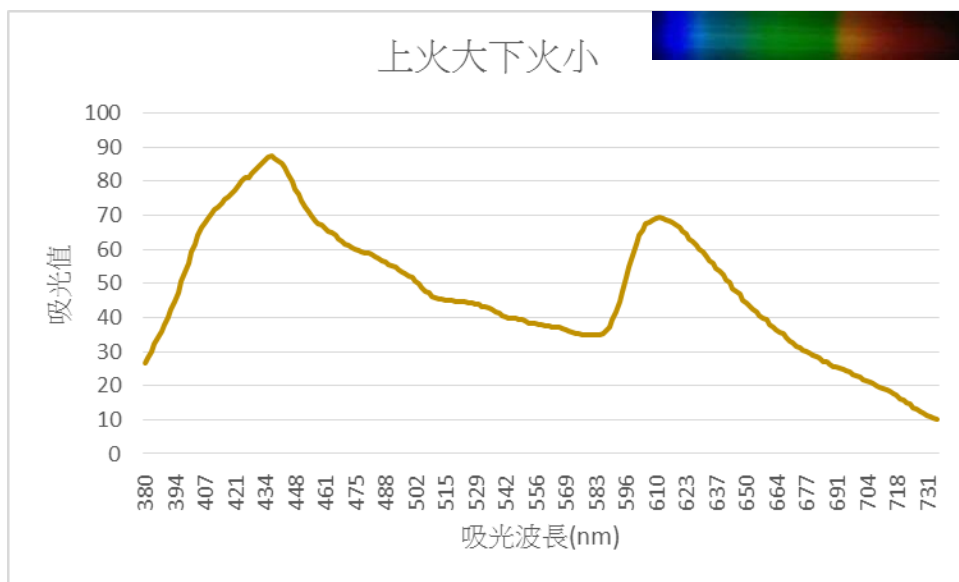


圖 13 上火大下火小烘焙下咖啡液的吸光圖譜

從圖 13 可以看出，上火大下火小的處理在 440-450 nm 附近有一較大的吸收波峰，亦達到將近 90 的吸光值，顯示烘焙的溫度應以 250 度為宜，可以產生和商業產品相近的褐變反應程度。

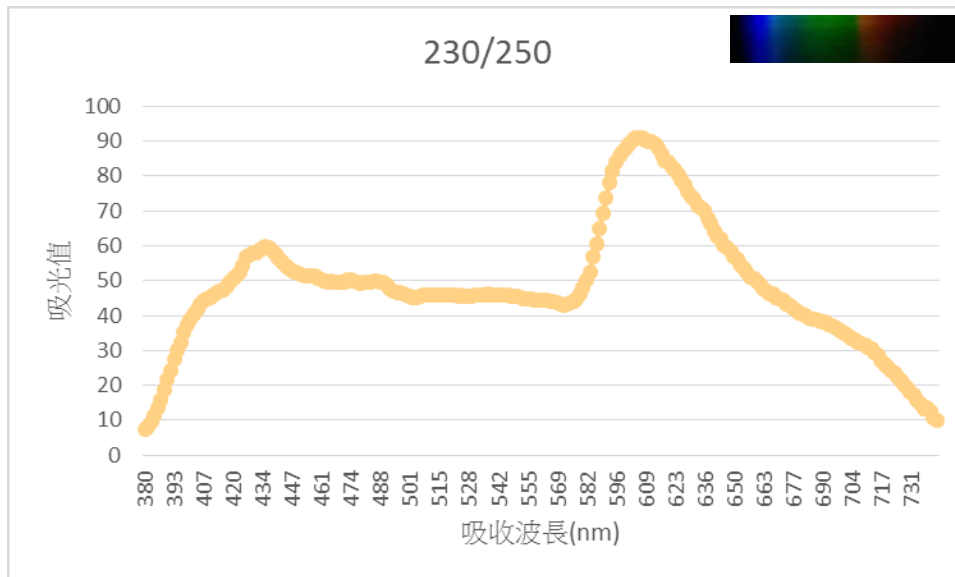


圖 14 上火小下火大烘焙下咖啡液的吸光圖譜

從圖 14 可以看出，上火小下火大的處理在 440-450 nm 附近的吸收波峰明顯變低，620 nm 的吸光值卻明顯的達到超過 90，顯示烘焙的溫度如果上火在較低溫度 230 度時，產生的褐變反應較小，綠原酸仍保留較多，一般認為，綠原酸能夠防止脂肪堆積，並且有護肝的功能，減少肥胖的機率。且淺焙的咖啡，其綠原酸含量較深焙者為高，也可以證明，手機光譜儀法可以快速且便宜地辨別出咖啡豆烘焙程度之差異。

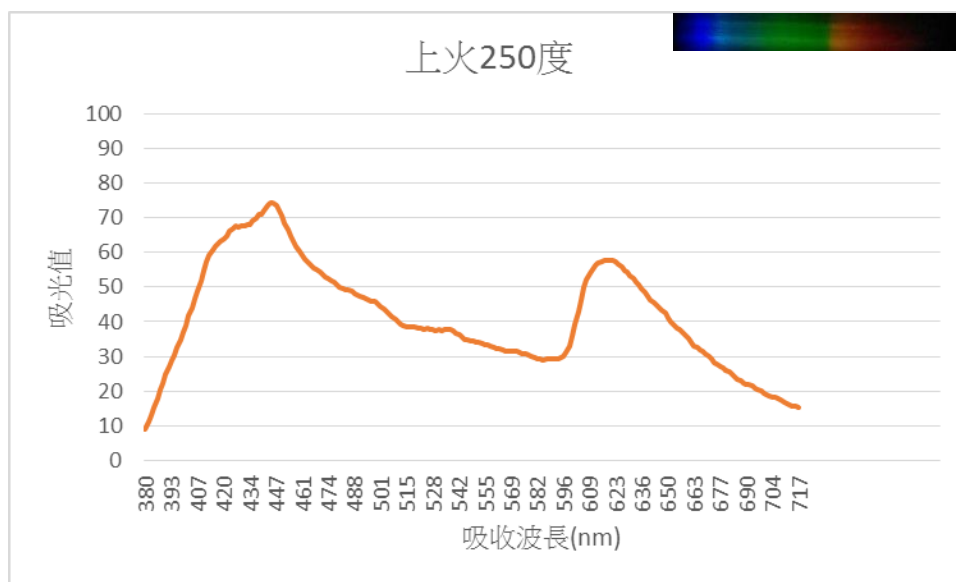


圖 14 上火 250 度烘焙下咖啡液的吸光圖譜

從圖 14 可以看出，上火 250 度的處理在 440-450 nm 附近的吸收波峰較有下火時明顯變低(約只有 73)，620 nm 的吸光值也降低到未達 70，顯示具有滾筒的咖啡烤箱，仍應將上下火的加熱裝置都打開，使其在烤箱中均勻受熱，當然，此結果也可以證明，手機光譜儀法可以檢查出烤箱溫度設定上的差異，減少業者嘗試錯誤的時間和成本的虛耗。



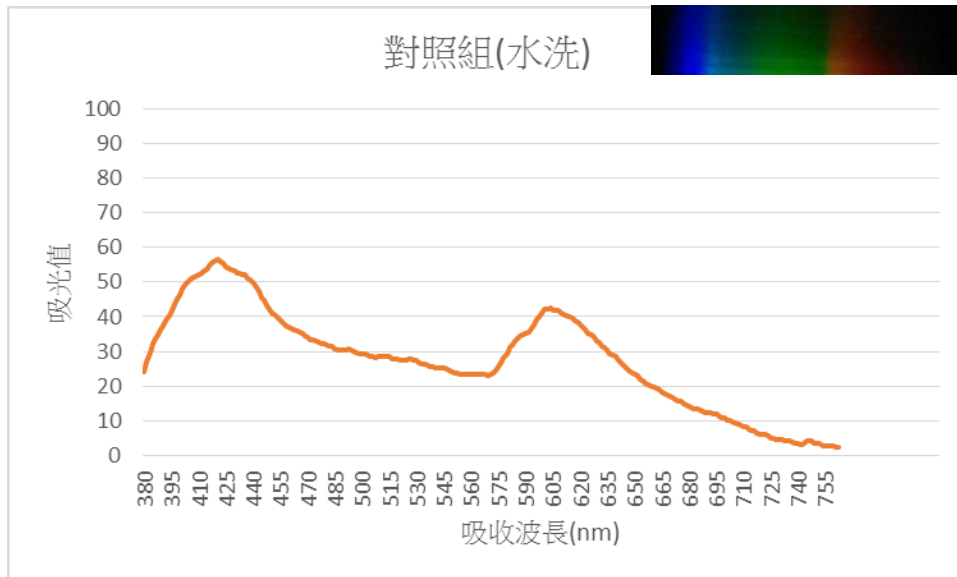


圖 15 對照組(清水組)咖啡液的吸光圖譜

從圖 15 可以看出，水洗處理在 440-450 nm 附近的吸收波峰較有商業產品明顯變低(約只有 58)，620 nm 的吸光值也降低到僅有 43，下降了約 1/3。水洗過程中，廢棄黏液呈現褐色，推測可能是醣類溶解在水中，隨著水洗過程流失，後續的烘焙時，咖啡豆中的醣類減少所造成的。

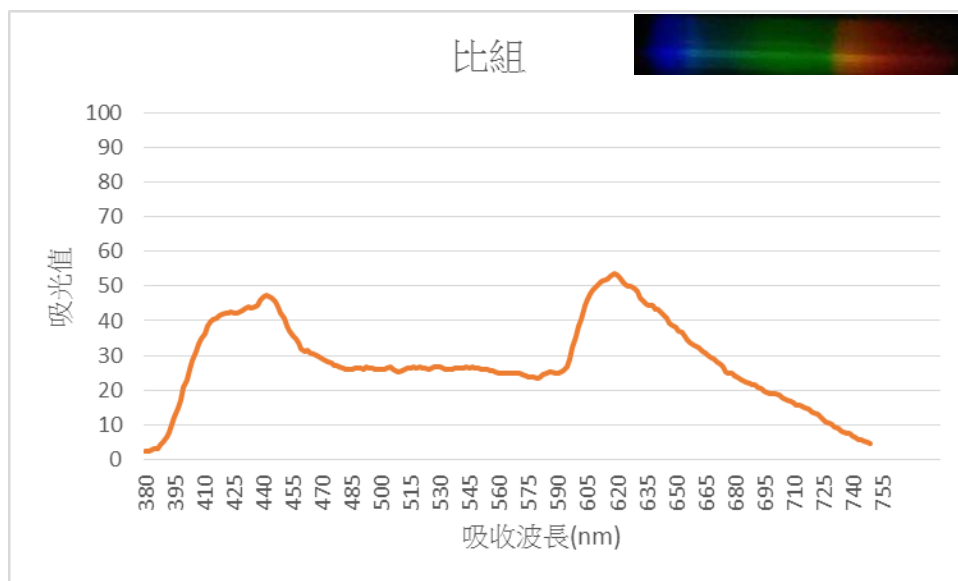


圖 16 比組咖啡液的吸光圖譜

從圖 16 可以看出，比菲多菌處理在 440-450 nm 附近的吸收波峰較有對照組明顯變低(約只有 48)，620 nm 的吸光值卻較對照組增加為 53。顯示不同的菌種發酵後，咖啡豆內部的醣類被菌株代謝，導致後續的烘焙時，咖啡豆中的醣類減少所造成的。另外一個可能是菌株的水解反應，導致綠原酸被保留下來。所以最終產品應該會偏酸性。

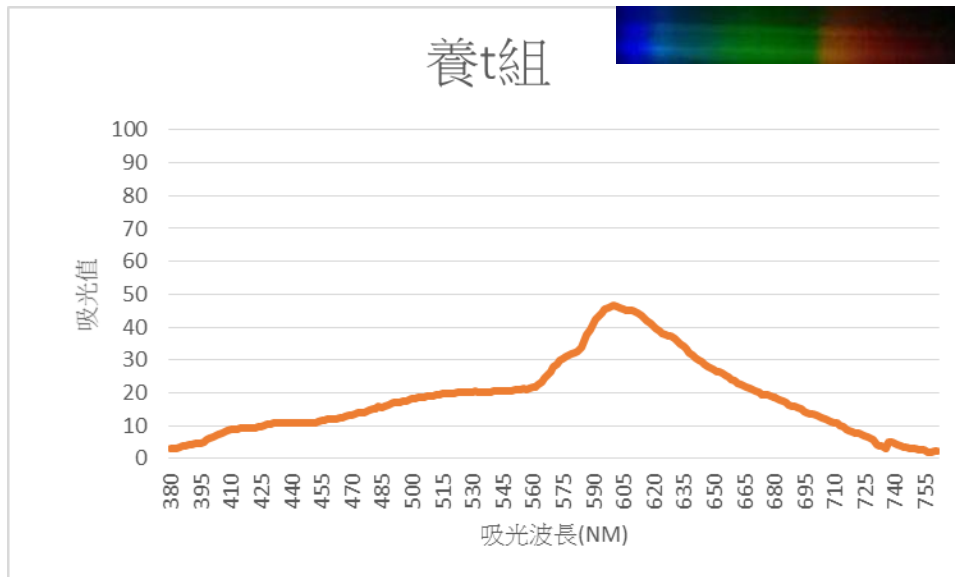


圖 17 養 t 組咖啡液的吸光圖譜

從圖 17 可以看出，養 t 菌(以下稱為傳統養樂多組)處理在 440-450 nm 附近有的吸收波峰完全消失了，620 nm 的吸光值較對照組稍微下降為 49。顯示養樂多代田菌處理後，咖啡豆內部的醣類被菌株代謝光了，導致後續的烘焙時，咖啡豆中的褐變反應幾乎無法進行所造成的。同樣的，另外一個可能是菌株的水解反應，導致綠原酸被保留下來。所以，傳統養樂多所含的養樂多代田菌可以降低咖啡中的咖啡因含量，製作低咖啡因咖啡。

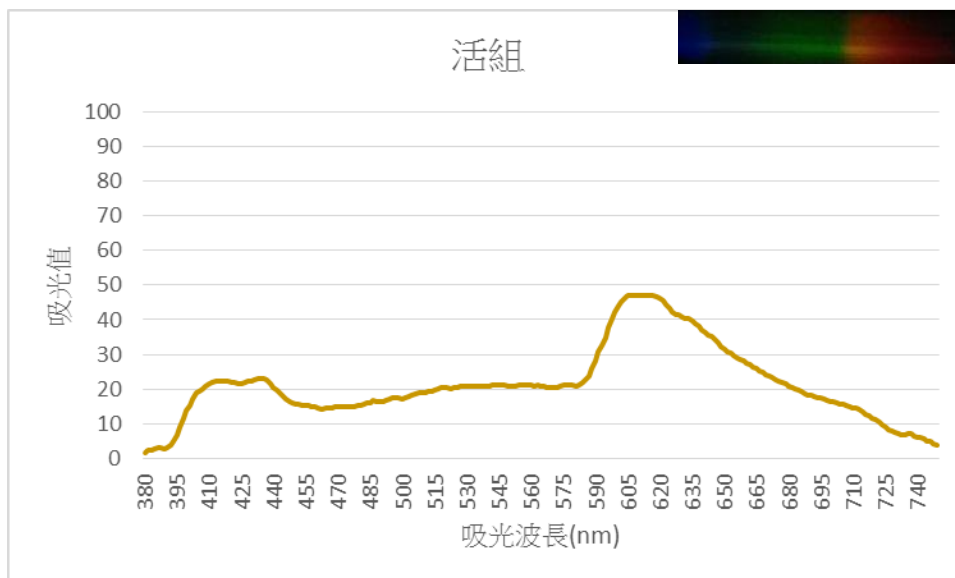


圖 18 活組咖啡液的吸光圖譜

從圖 18 可以看出，活益比菲多菌處理在 440-450 nm 附近有的吸收波峰降低到對照組的 1/3，620 nm 的吸光值較對照組稍微下降為 49。顯示養樂多代田菌後，咖啡豆內部的醣類被菌株代謝光了，導致後續的烘焙時，咖啡豆中的褐變反應幾乎無法進行所造成的。同樣的，

另外一個可能是菌株的水解反應，導致綠原酸被保留下來。所以最終產品應該會偏酸性。

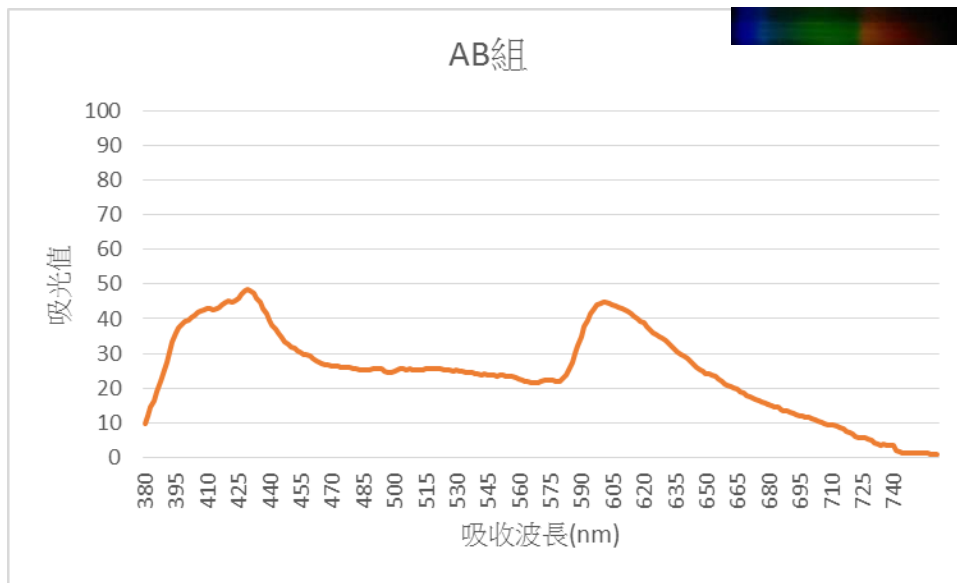


圖 19 AB 組咖啡液的吸光圖譜

從圖 19 可以看出，AB 混合菌處理在 440-450 nm 附近的吸收波峰較有對照組明顯變低 (約只有 50)，620 nm 的吸光值與對照組相差不多 (約 45)。顯示不同的菌種發酵後，咖啡豆內部的醣類被菌株代謝，導致後續的烘焙時，咖啡豆中的醣類減少所造成的。另外一個可能是菌株的水解反應，導致綠原酸被保留下來。所以最終產品應該會偏酸性。

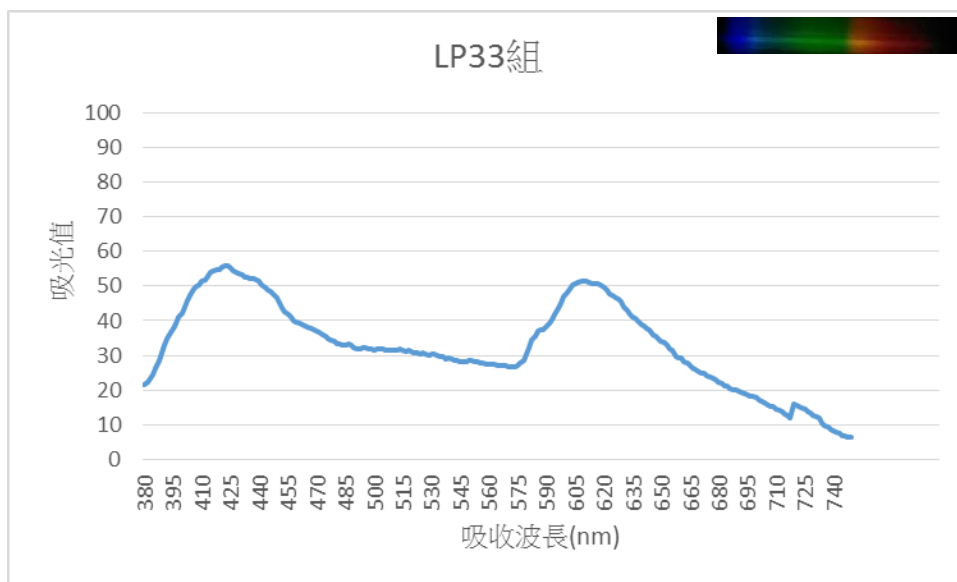
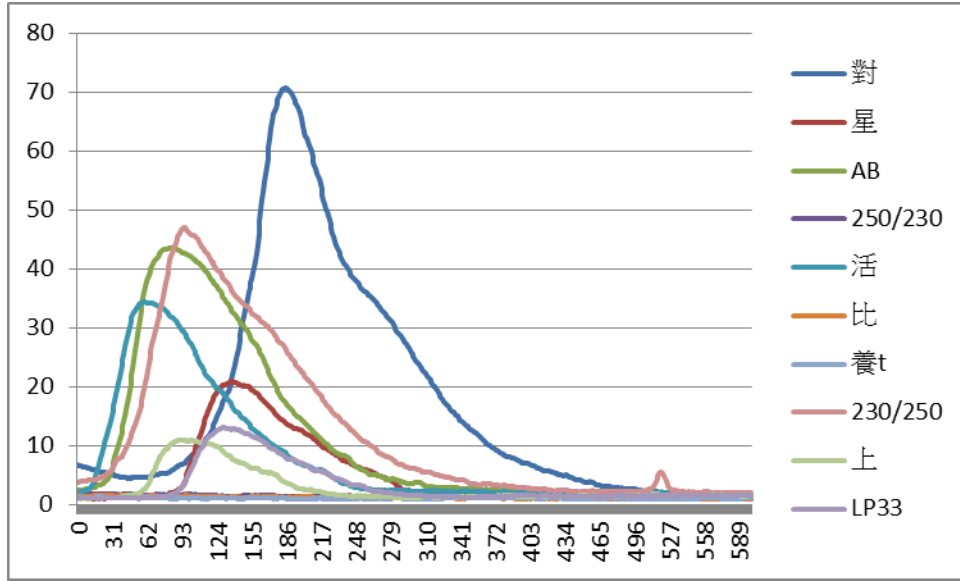


圖 20 LP33 組咖啡液的吸光圖譜

從圖 20 可以看出，LP33 菌處理在 440-450 nm 附近的吸收波峰較有對照組明顯變低 (約 57)，620 nm 的吸光值與對照組相差不多 (約 50)。顯示 LP33 的處理後，對咖啡豆內部的醣類和綠原酸的影響較低，在烘焙時，使得咖啡豆中的醣類等有正常的含量。

### 3. 咖啡因含量測定



從圖 21 可以看出，對照組，上火小下火大，AB 組與活組的咖啡因量明顯的較其他各組為高，文獻指出，淺焙的咖啡，其咖啡因含量要較深焙的咖啡為多，本研究的結果與之相近，透過不同的光源(如紫外燈)，單獨探討咖啡因含量的實驗，也證實了先前各組的全波段分析結果，即手機光譜儀可以用來快速的判定咖啡中咖啡因的含量，使業者可以快速的調整加工的製程。

### 4. 咖啡粉二氧化碳檢測

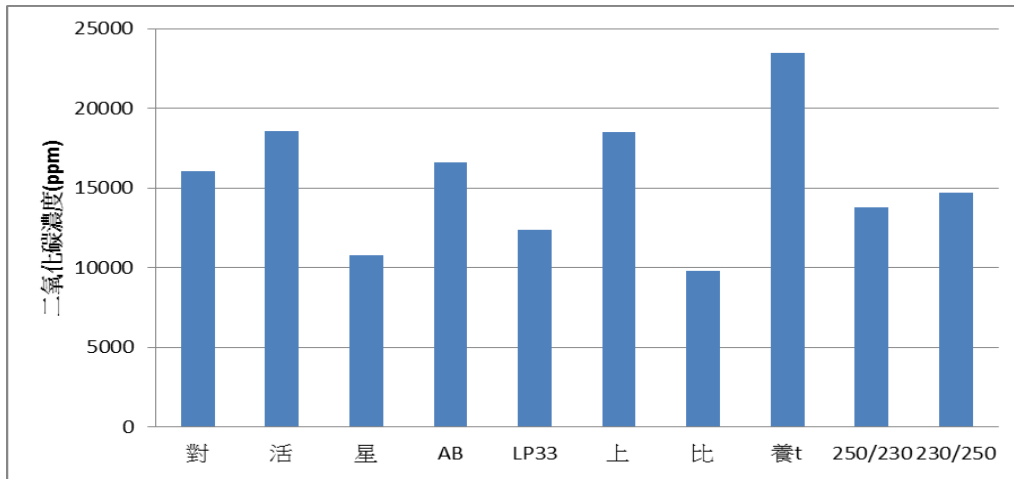


圖 22 不同菌種處理對咖啡中二氧化碳的影響

從圖 22 可以看出，傳統養樂多組的咖啡有最高的二氧化碳量，顯著的高於對照組，只開上火組和比菲多原液組顯著的高於對照組，AB 組和對照組間沒有顯著差異，其他各種處理均顯著地較對照組為差。根據研究指出，二氧化碳雖然沒有香味，在烘焙後所產生的二氧化碳，仍有一大部分被困在細胞的格狀結構中，有助於維持咖啡的香氣，且可以在儲藏時，防止氧氣入侵時，氧氣對香味成分的氧化作用，所以，咖啡烘焙後，產生的二氧化碳含量越多，其風味越佳(崔，民 106)，故透過二氧化碳偵測器的判讀，可以協助咖啡烘焙業者快速的判

定烘焙條件是否合宜。

### 5. 咖啡液酸鹼值測定

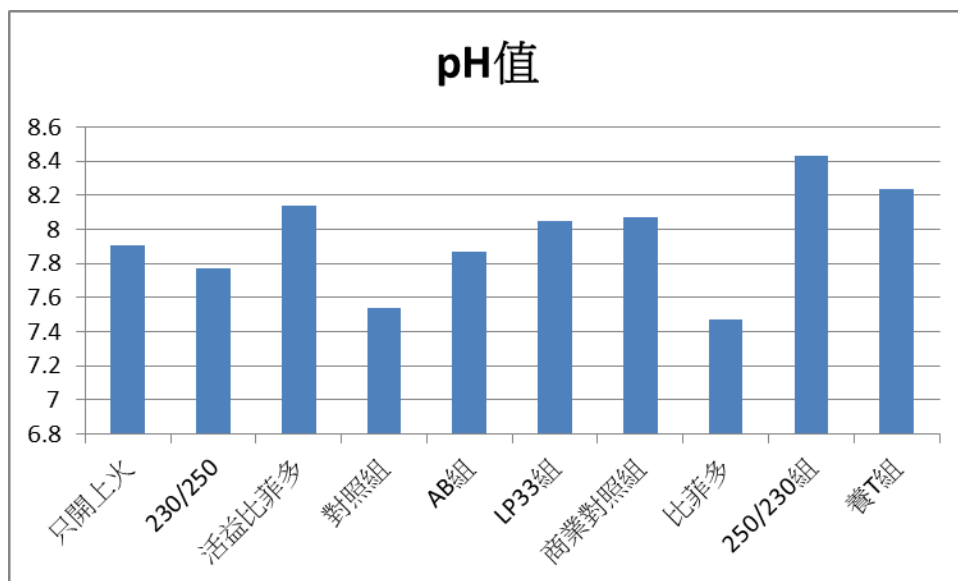


圖 24 不同處理條件對咖啡液 pH 值的影響

從圖 24 可以看出，上火大下火小組的咖啡液有最高的 pH 值，顯著的高於傳統養樂多組與活益比菲多組，其次是商業對照組與 LP33 組，其他各種處理均顯著地較對照組為高。一般認為，咖啡液的酸鹼值偏酸時，會較苦，而越高的 pH 值則代表較佳的柔和度，此結果也呼應了二氧化碳實驗中，傳統養樂多組的二氧化碳含量較高的結果。

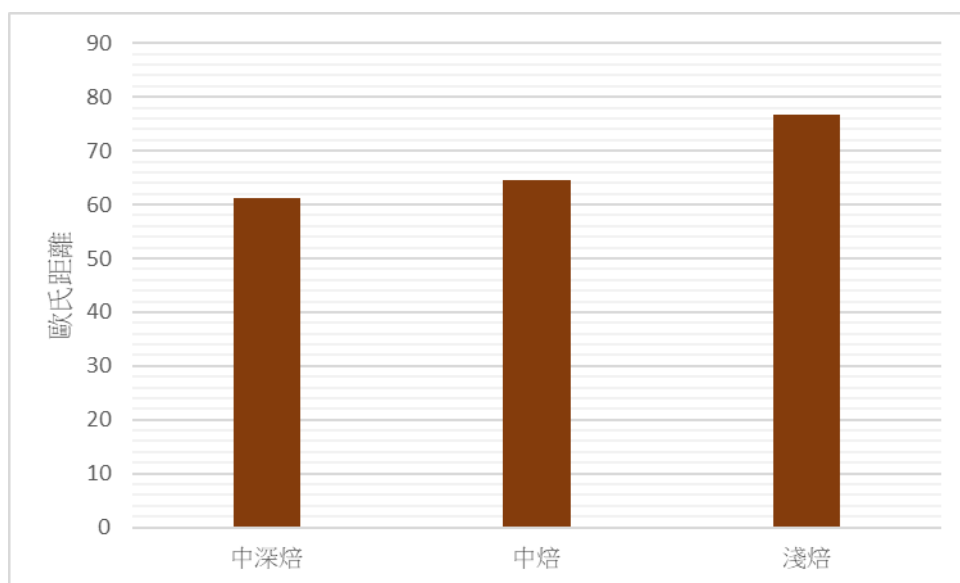


圖 25 不同烤焙程度的商業咖啡其顏色差異之比較

從圖 25 可以看出，三種不同烘焙程度的商用咖啡，均與對照組(深焙商用咖啡)在歐氏距離上有顯著差異，而比較中深焙和中焙兩組，雖然有顯著差異( $p>0.05$ )，但是兩者非常接近，這跟我們在圖 12 用肉眼的觀察相近，此一結果顯示，透過 Arduino 晶片的判斷，的確可幫助業者調整其烘焙條件，確立所生產的咖啡符合消費者的需求。當然，淺焙的咖啡其歐氏距離最大，驗證了我們設計的模組，的確可以提供業者一個量化的指標，進一步調整咖啡豆烘焙的溫度和時間。

## 6. 3D 印表機組裝檢測儀器

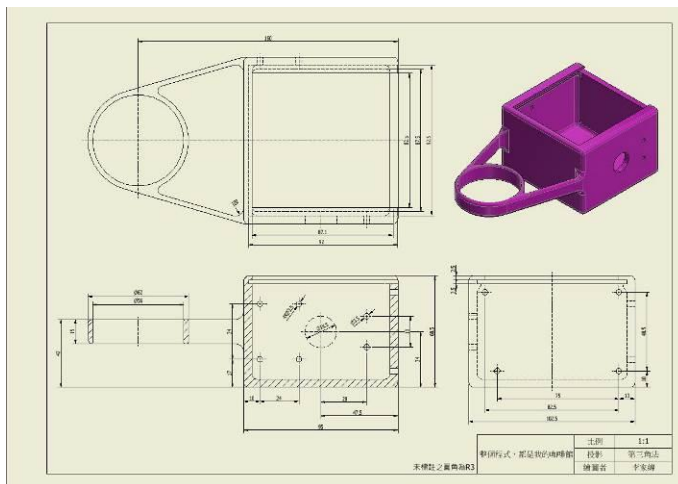


圖 25 偵測盒設計圖



圖 26 檢測盒成品圖。俯視圖(左)；側視圖(中，二氧化碳模組)；側視圖(右，pH 模組)

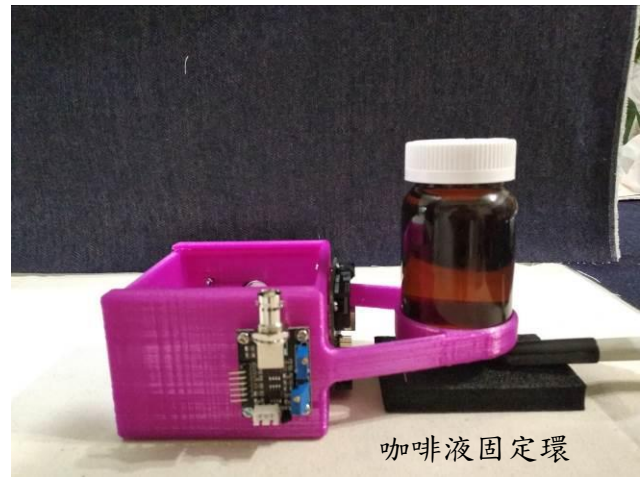
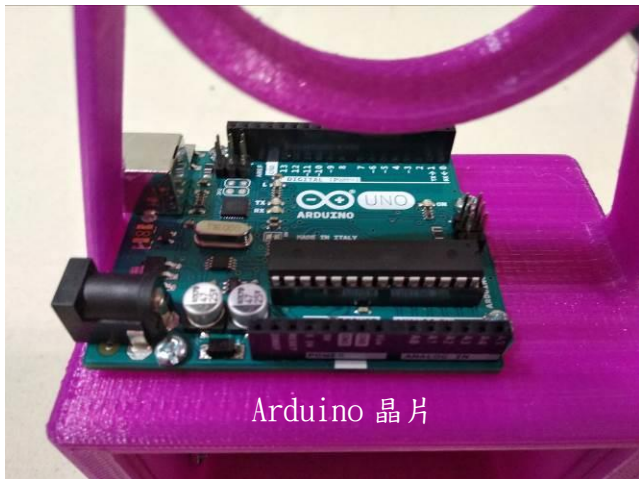


圖 27 檢測盒成品圖。上視圖(左)；咖啡液固定環之操作(右)

從圖 25、圖 26 與圖 27 的成品圖可以看出，本設計之檢測盒可以將探針(如：pH 的電極、溫度計或是二氧化碳的偵測頭)固定後，將咖啡粉放入盒子中並將蓋子蓋好，可以避免外界空氣等因子的干擾，提高測量的準確度。咖啡液的部分，則可以放在褐色瓶中，置入圓形的固定環中進行 pH 值等實驗的測量。由於本偵測盒是 3D 列印，所以除了蓋子部分外，沒有其他的縫隙，可讓外界的氣體滲入，影響二氧化碳濃度等氣體因子的測量，可以提升實驗的準確度，加上影像偵測模組，模擬色差儀的原理，先把標準商業樣品放入，拍照後分析其 RGB 值，再把咖啡粉放入小培養皿中，同樣地進行照相與分析，即可給予咖啡粉量化的顏色分析。

#### 捌、結論

- 一、咖啡烘焙完成後，可以透過手機顯微鏡量測粉末的大小，快速判斷最終產製的咖啡可能的品質。
- 二、本實驗中較適合的烘焙條件是上火 250 度下火 230 度。
- 三、混合菌種發酵對咖啡豆的醣類影響較小，較容易產製和未處理的咖啡相近的褐變反應產物，而未處理組的咖啡因最高。
- 四、手機光譜儀的確能協助咖啡烘焙業者快速的分析出烘焙條件的優劣，提供量化的數據，使業者有改進的依據。
- 五、本研究所開發的二氧化碳偵測器和 pH 檢測器可以判斷咖啡處理條件是否合宜，其中以養樂多發酵的咖啡粉，其二氧化碳含量與酸鹼值最高。
- 六、以 3D 印表機製作接縫很少的密閉式偵測盒，可以減少外界空氣對檢測儀器的干擾，提高準確度。
- 七、本研究所開發的色差分析器，可以顯著地判斷不同烘焙程度的咖啡粉，提供業者量化的數據，進而改善其烘焙條件。

玖、參考資料

- 1.張皓雲(民 103) 科學證明：1 3 個你應該要多喝咖啡的理由。天下雜誌網路版。  
<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5054402#sthash.GYGt0evw.dpuf>
- 2.謝明玲(民 104)台灣，咖啡實驗場的潮文青。天下雜誌網路版。  
<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5066283#sthash.3it4XMAc.dpuf>
- 3.蘇孟娟(民 105) 不必靠麝香貓 興大靠益菌開發出「麝香貓咖啡」。自由時報。  
<http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1901668>
- 4.江宏仁(民 106) 科學 Maker。 <https://www.facebook.com/groups/720651754612879/>
- 5.林淑瑗、王聯輝、林苑暉、韓伊涵、王彥翔、葉佳聖(民 99) 不同製備法製得咖啡之抗氧化性及咖啡因含量。[http://eshare.stust.edu.tw/EshareFile/2010\\_1/2010\\_1\\_5a5c9e26.pdf](http://eshare.stust.edu.tw/EshareFile/2010_1/2010_1_5a5c9e26.pdf)
- 6.崔洛堰(民 106)咖啡香味的科學。方言文化出版事業有限公司，台北市。
- 7.維生福利部(民 106) 「飲料中咖啡因之檢驗方法」草案。  
<https://www.fda.gov.tw/tc/newsContent.aspx?cid=5072&id=22203>
- 8.趙英傑(民 103)超圖解 Arduino 互動設計入門。旗標出版股份有限公司，台北市。
- 9.梅克 2 工作室(民 103)Arduino 微電腦控制實習。台科大圖書股份有限公司，新北市。



## 附錄一、二氧化碳偵測器的控制程式：

```
#define      MG_PIN                (0)      //define which analog input channel you are going to use
#define      BOOL_PIN              (2)
#define      DC_GAIN                (8.5)   //define the DC gain of amplifier
#define      READ_SAMPLE_INTERVAL  (50)    //define how many samples you are going to take in normal
operation
#define      READ_SAMPLE_TIMES     (5)     //define the time interval(in milisecond) between each samples
in
                                             //normal operation

//These two values differ from sensor to sensor. user should derermine this value.
#define      ZERO_POINT_VOLTAGE    (0.220) //define the output of the sensor in volts when the concentration
of CO2 is 400PPM
#define      REACTION_VOLTGAEE     (0.020) //define the voltage drop of the sensor when move the sensor
from air into 1000ppm CO2
float      CO2Curve[3] = {2.602,ZERO_POINT_VOLTAGE,(REACTION_VOLTGAEE/(2.602-3))};
                                             //two points are taken from the curve.
                                             //with these two points, a line is formed which is
                                             //"approximately equivalent" to the original curve.
                                             //data format: { x, y, slope}; point1: (lg400, 0.324), point2: (lg4000,
0.280)
                                             //slope = ( reaction voltage ) / (log400 -log1000)

void setup()
{
  Serial.begin(9600);                      //UART setup, baudrate = 9600bps
  pinMode(BOOL_PIN, INPUT);                //set pin to input
  digitalWrite(BOOL_PIN, HIGH);           //turn on pullup resistors

  Serial.print("MG-811 Demonstration\n");
}

void loop()
{
  int percentage;
  float volts;

  volts = MGRead(MG_PIN);
  Serial.print( "SEN-00007:" );
```

```

Serial.print(volts);
Serial.print( "V          " );

percentage = MGGetPercentage(volts,CO2Curve);
Serial.print("CO2:");
if (percentage == -1) {
    Serial.print( "<400" );
} else {
    Serial.print(percentage);
}

Serial.print( "ppm" );
Serial.print("\n");

if (digitalRead(BOOL_PIN) ){
    Serial.print( "=====BOOL is HIGH=====");
} else {
    Serial.print( "=====BOOL is LOW=====");
}

Serial.print("\n");

delay(2000);
}

/***** MGRRead *****/
Input:  mg_pin - analog channel
Output: output of SEN-000007
Remarks: This function reads the output of SEN-000007
*****/
float MGRRead(int mg_pin)
{
    int i;
    float v=0;

    for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
        v += analogRead(mg_pin);
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }
}

```

```

v = (v/READ_SAMPLE_TIMES) *5/1024 ;
return v;
}

```

```

/***** MQGetPercentage *****/

```

Input: volts - SEN-000007 output measured in volts  
pcurve - pointer to the curve of the target gas

Output: ppm of the target gas

Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic value of ppm) of the line could be derived if y(MG-811 output) is provided. As it is a logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result to non-logarithmic value.

```

*****/

```

```

int MGGetPercentage(float volts, float *pcurve)
{
    if ((volts/DC_GAIN)>=ZERO_POINT_VOLTAGE) {
        return -1;
    } else {
        return pow(10, ((volts/DC_GAIN)-pcurve[1])/pcurve[2]+pcurve[0]);
    }
}

```

附錄二、測定 PH 值和 RGB 值的控制程式：

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <TimerOne.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

```

```

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

```

```

struct CRGB {
    union {
        struct {
            union {
                uint8_t r;
                uint8_t red;
            };
            union {
                uint8_t g;
                uint8_t green;
            };
        };
    };
};

```

```

};
union {
    uint8_t b;
    uint8_t blue;
};
};
uint8_t raw[3];
};
};

#define MG_PIN 0 //define which analog input channel you are going to use
#define BOOL_PIN 8
#define DC_GAIN 8.5//define the DC gain of amplifier
#define READ_SAMPLE_INTERVAL 50 //define how many samples you are going to take in
normal operation
#define READ_SAMPLE_TIMES 5 //define the time interval(in milisecond) between each
samples in
//normal operation

//These two values differ from sensor to sensor. user should derermine this value.
#define ZERO_POINT_VOLTAGE 0.220 //define the output of the sensor in volts when the
concentration of CO2 is 400PPM
#define REACTION_VOLTGAE 0.020 //define the voltage drop of the sensor when move
the sensor from air into 1000ppm CO2

#define S0 3
#define S1 4
#define S2 5
#define S3 6
#define OUT 2
int g_count = 0; // 頻率計算
int g_array[3]; // 儲存 RGB 值
int g_flag = 0; // RGB 過濾順序
float g_SF[3]; // 儲存白平衡計算後之 RGB 補償係數
float CO2Curve[3] = {2.602, ZERO_POINT_VOLTAGE, (REACTION_VOLTGAE / (2.602 -
3))};
float *pcurve;
float volts;

```

```

int DisplayMode=1;
// 使用多少顆 WS2812B
#define NUM_LEDS 11

// WS2812B DIN 接腳街道 UNO 的哪根接腳
#define DATA_PIN 13

// Parameter 1 = number of pixels in strip
// Parameter 2 = pin number (most are valid)
// Parameter 3 = pixel type flags, add together as needed:
//   NEO_KHZ800  800 KHz bitstream (most NeoPixel products w/WS2812 LEDs)
//   NEO_KHZ400  400 KHz (classic 'v1' (not v2) FLORA pixels, WS2811 drivers)
//   NEO_GRB     Pixels are wired for GRB bitstream (most NeoPixel products)
//   NEO_RGB     Pixels are wired for RGB bitstream (v1 FLORA pixels, not v2)
Adafruit_NeoPixel ws2812 = Adafruit_NeoPixel(NUM_LEDS, DATA_PIN, NEO_GRB +
    NEO_KHZ800);

CRGB leds[NUM_LEDS];

// TCS3200 初始化與輸出頻率設定
void TSC_Init()
{
    pinMode(S0, OUTPUT);
    pinMode(S1, OUTPUT);
    pinMode(S2, OUTPUT);
    pinMode(S3, OUTPUT);
    pinMode(OUT, INPUT);

    digitalWrite(S0, LOW); // OUTPUT FREQUENCY SCALING 2%
    digitalWrite(S1, HIGH);
}

// 選擇過濾顏色
void TSC_FilterColor(int Level01, int Level02)
{
    if(Level01 != 0)
        Level01 = HIGH;

    if(Level02 != 0)

```

```

Level02 = HIGH;

digitalWrite(S2, Level01);
digitalWrite(S3, Level02);
}

void TSC_Count()
{
  g_count ++ ;
}

void TSC_Callback()
{
  switch(g_flag)
  {
    case 0:
      Serial.println("->WB Start");
      TSC_WB(LOW, LOW);           // Red
      break;
    case 1:
      Serial.print("->Frequency R=");
      Serial.println(g_count);
      g_array[0] = g_count;
      TSC_WB(HIGH, HIGH);        // Green
      break;
    case 2:
      Serial.print("->Frequency G=");
      Serial.println(g_count);
      g_array[1] = g_count;
      TSC_WB(LOW, HIGH);         // Blue
      break;
    case 3:
      Serial.print("->Frequency B=");
      Serial.println(g_count);
      Serial.println("->WB End");
      g_array[2] = g_count;
      TSC_WB(HIGH, LOW);         //Clear(no filter)
      break;
  }
}

```

```

    default:
        g_count = 0;
        break;
    }
}

void TSC_WB(int Level0, int Level1)    //White Balance
{
    g_count = 0;
    g_flag ++;
    TSC_FilterColor(Level0, Level1);
    Timer1.setPeriod(1000000);        // us; 每秒觸發
}

void setup()
{
    TSC_Init();
    Serial.begin(9600);

    ws2812.begin();
    ws2812.show(); // Initialize all pixels to 'off'

    Timer1.initialize();             // default is 1s
    Timer1.attachInterrupt(TSC_Callback);
    attachInterrupt(0, TSC_Count, RISING);

    delay(4000);

    for(int i=0; i<3; i++)
        Serial.println(g_array[i]);

    g_SF[0] = 255.0/ g_array[0];      // R 補償係數
    g_SF[1] = 255.0/ g_array[1] ;    // G 補償係數
    g_SF[2] = 255.0/ g_array[2] ;    // B 補償係數

    Serial.println(g_SF[0]);
    Serial.println(g_SF[1]);
    Serial.println(g_SF[2]);
}

```

```

for(int i=0; i<3; i++)
  Serial.println(int(g_array[i] * g_SF[i]));
Serial.println("Finish Calibration.");
delay(4000);

lcd.init(); //initialize the lcd
lcd.backlight(); //open the backlight

pinMode(BOOL_PIN, INPUT); //set pin to input
digitalWrite(BOOL_PIN, HIGH); //turn on pullup resistors

Serial.print("MG-811 Demonstration\n");

}

void loop()
{
  g_flag = 0;
  // R
  for( int i = 0; i < NUM_LEDS; i++ )
  {
    leds[i].r = int(g_array[0] * g_SF[0]);
    leds[i].g = int(g_array[1] * g_SF[1]);
    leds[i].b = int(g_array[2] * g_SF[2]);
    ws2812.setPixelColor( i, leds[i].r, leds[i].g, leds[i].b );
  }
  Timer1.stop();

  Serial.println(leds[0].r);
  Serial.println(leds[0].g);
  Serial.println(leds[0].b);

  ws2812.show(); // Sends the value to the LED

int percentage;
float volts;

volts = MGRead(MG_PIN);
Serial.print( "SEN-00007:" );

```



```

Serial.print(volts);
Serial.print( "V          " );

percentage = MGGetPercentage(volts, CO2Curve);
Serial.print("CO2:");
if (percentage == -1) {
  Serial.print( "<400" );
} else {
  Serial.print(percentage);
}

Serial.print( "ppm" );
Serial.print("\n");

if (digitalRead(BOOL_PIN) ) {
  Serial.print( "=====BOOL is HIGH===== " );
} else {
  Serial.print( "=====BOOL is LOW===== " );
}

Serial.print("\n");

delay(200);
}

/***** MGRoad
*****
Input:  mg_pin - analog channel
Output: output of SEN-000007
Remarks: This function reads the output of SEN-000007
*****/

float MGRoad(int mg_pin)
{
  int i;
  float v = 0;

  for (i = 0; i < READ_SAMPLE_TIMES; i++) {
    v += analogRead(mg_pin);

```

```

    delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
}
v = (v / READ_SAMPLE_TIMES) * 5 / 1024 ;
return v;
}

```

```

/***** MQGetPercentage

```

```

*****

```

```

Input:  volts    - SEN-000007 output measured in volts
        pcurve   - pointer to the curve of the target gas

```

```

Output: ppm of the target gas

```

```

Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic value of ppm)
of the line could be derived if y(MG-811 output) is provided. As it is a
logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result to non-logarithmic
value.

```

```

*****

```

```

****/

```

```

int  MGGetPercentage(float volts, float *pcurve)
{
  if ((volts / DC_GAIN ) >= ZERO_POINT_VOLTAGE) {
    return -1;
  } else {
    return pow(10, ((volts / DC_GAIN) - pcurve[1]) / pcurve[2] + pcurve[0]);
  }
}

if (DisplayMode==1){
  Serial.print(analogValue);
  Serial.print( "\t" );

  Serial.print(volts);
  Serial.print( "V" );
  Serial.print( "\t" );

  Serial.print("CO2:");
  Serial.print(percentage);
  Serial.print( "ppm" );
  Serial.print( "\t" );

  Serial.print( "Time point:" );

```

```
    Serial.print(millis());  
    Serial.print("\n");  
} else {  
    Serial.println(percentage);  
}
```

```
    delay(200);
```

```
Timer1.resume();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("R:");  
lcd.setCursor(2,0);  
lcd.print(leds[0].r);  
lcd.setCursor(5,0);  
lcd.print("G:");  
lcd.setCursor(7,0);  
lcd.print(leds[0].g);  
lcd.setCursor(10,0);  
lcd.print("B:");  
lcd.setCursor(12,0);  
lcd.print(leds[0].b);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("CO2:");  
lcd.setCursor(4,1);  
lcd.print(percentage);  
lcd.setCursor(8,1);  
lcd.print("ppm");  
lcd.setCursor(12,1);  
lcd.print("PH:");  
lcd.setCursor(15,1);  
lcd.print("k");  
delay(4000);  
lcd.clear();  
  
}
```