

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

團隊合作獎

030202

咖啡廢棄物再利用-咖啡果皮之研究

學校名稱：雲林縣立樟湖生態國民中小學

作者： 國二 陳昱安 國二 黃宥涵 國二 張硯涵	指導老師： 陳恆毅 周政翰
---	-----------------------------

關鍵詞：咖啡果皮、抗氧化、循環經濟

摘要

本研究將農業廢棄物咖啡果皮為原料，用乾果機以 60 °C 與 70 °C 將其烘乾只要 200 分鐘，比傳統日曬法(兩天)更快；抗氧化力測試上，乾果機烘乾法顯著優於傳統日曬法；咖啡果皮以乾果機烘乾後的第 1~9 天都維持穩定抗氧化力；咖啡果實在較高海拔其抗氧化力比較低海拔要好，成長期在均溫較低的咖啡果實其抗氧化力比均溫高還要好；若是在相同海拔、沒有施肥咖啡果皮則抗氧化力較低。與六種果乾進行抗氧化力比較，咖啡果皮茶都比這些水果乾要高。而與茶葉的抗氧化力的測試中，咖啡果皮茶在所有茶類比較中僅次於綠茶，與阿里山高山茶相近。官能品評實驗中，受試者對乾果機烘乾的果皮茶之喜好程度均優於傳統日曬法且具高的購買意願。

壹、研究動機

台灣人愛喝咖啡，近年來咖啡市場逐漸變大，帶動咖啡種植，全台咖啡栽種面積約 1200 公頃，其中雲林縣古坑鄉種植面積約 100 公頃，產量約 10,000 餘公斤，古坑咖啡具有特殊風味，被譽為「臺灣咖啡的原鄉」。

在我們學校周圍的社區以及校園內都有種植咖啡樹，因此我們常觀察到咖啡果農採集咖啡果實後，製作生豆過程會去除咖啡果皮，並將咖啡果皮當作農業廢棄物或堆肥使用；不過我們在校本課程的專題研究中發現，咖啡果皮裡面的果肉、銀皮含有豐富營養成分，例如花青素、綠原酸、咖啡酸和阿魏酸等多酚類物質^[1,2,5]，報導中^[7]有提到有更豐富的抗氧化成分。

在閱讀台糖將牡蠣殼轉製碳酸鈣，實現廢棄物再利用的案例後，也積極設法將家鄉社區產生的大量農業廢棄物—咖啡果皮再利用，使其具有經濟價值；並研究其抗氧化力，將這些做成明確的數據成果，我們希望藉由這些研究成果，可以提供小農實作的參考，促進社區小農的經濟發展，讓原本是農業廢棄物的咖啡果皮可再利用具有經濟價值，達到循環經濟的目標。

貳、研究目的

- 一、不同的乾燥法與溫度去烘乾咖啡果皮，追蹤所需乾燥時間
- 二、比較不同溫度與烘乾果皮方法，其不同沖泡時間對抗氧化力的影響
- 三、烘乾後咖啡果皮放置天數對抗氧化力的影響
- 四、烘乾果皮回沖次數的抗氧化力比較
- 五、不同海拔、季節、施肥與否對咖啡果皮抗氧化力的影響
- 六、日曬法的抗氧化力較低，紫外光對抗氧化力的影響
- 七、其他水果乾與烘乾咖啡果皮抗氧化力的比較
- 八、不同茶葉種類與烘乾咖啡果皮的抗氧力比較
- 九、比較市售瓶裝茶飲與咖啡果皮的抗氧化力
- 十、咖啡果皮茶商品化之探討

參、研究器材與藥品

一、藥品

名稱	學名	化學式	來源
碘液	Iodine Solution	I ₂	立統
維他命 C	vitmin C	C ₆ H ₈ O ₆	立統
無水酒精	absolute alcohol	C ₂ H ₅ OH	立統
澱粉指示劑	太白粉		

二、設備或器材

乾果機	四位數防風天平	可調式微量分注器	紫外光燈
量筒	滴定管	滴管	燒杯
陶瓷纖維網	樣本瓶	定量瓶	培養皿
熱水器	漏斗	溫度計	玻棒
錐形瓶	三腳架	刮勺	濾紙

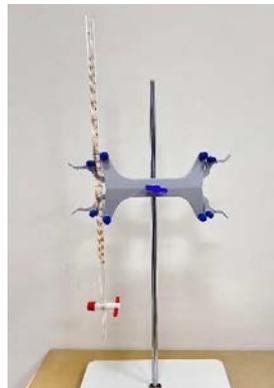
乾果機



四位數防風天平



滴定裝置



紫外線光燈



可調式微量分注器

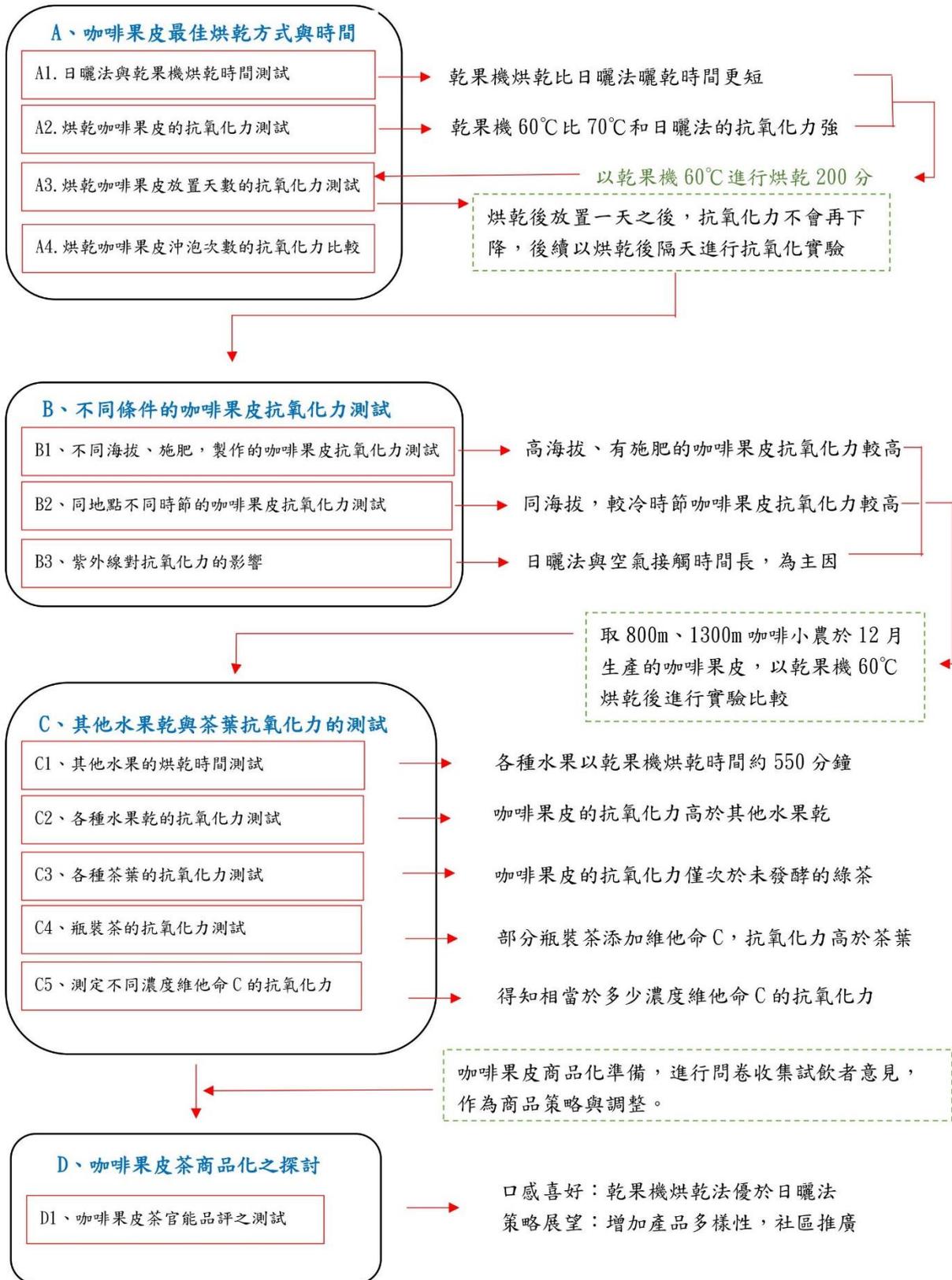


過濾壺



伍、研究過程或方法

一、實驗架構圖



A、咖啡果皮最佳烘乾方式與時間

【實驗 A1】日曬法烘乾與乾果機以不同溫度烘乾時間測試

前言：將咖啡果皮以日曬法與乾果機不同的方式去烘乾，在設定乾果機在不同溫度下烘乾，比較所需乾燥時間，作為後續實驗的依據。

步驟：

1. 操作變因：咖啡果皮以日曬法與乾果機不同的方式去烘乾
2. 日曬法：以四位數防風電子天平取 10 克的咖啡果皮共三份，在晴天時開始將此三份咖啡果皮置於陽光下通風處，每 50 分鐘測量一次質量、溫度、濕度，監控質量變化無明顯變化即停止。
3. 60 °C 乾果機法：以四位數防風電子天平取 10 克的咖啡果皮共三份，將此三份咖啡果皮置於乾果機中，並設定 60 °C 開始烘乾，每 50 分鐘測量一次質量，監控質量變化無明顯變化即停止。
4. 70 °C 乾果機法：以四位數防風電子天平取 10 克的咖啡果皮共三份，將此三份咖啡果皮置於乾果機中，並設定 70°C 開始烘乾，每 50 分鐘測量一次質量，監控質量變化無明顯變化即停止。

結果：

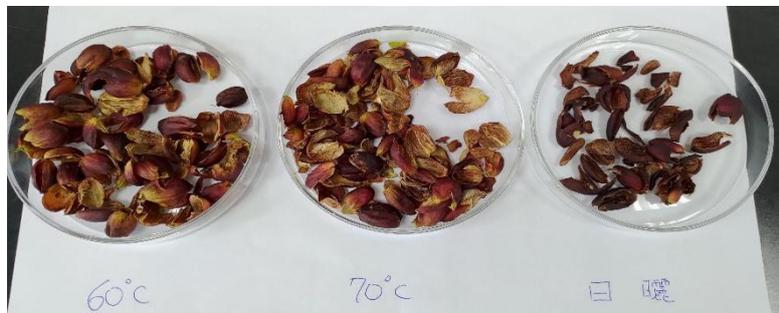
1. 日曬法烘乾咖啡果皮要到 500 分鐘以後才能逐漸平衡。
2. 乾果機分別以 60 °C、70 °C 去烘乾咖啡果皮，時間只要 200 分鐘以內就可以平衡。
3. 以日曬法烘乾的咖啡果皮顏色比較偏黑，而乾果機烘乾的咖啡果皮顏色比較偏桃紅色。



A. 日曬法曬乾咖啡果皮



B. 以乾果機烘乾咖啡果皮



C. 60°C、70°C 乾果機烘乾後與日曬法曬乾後的咖啡果皮

圖 3：日曬法烘乾與乾果機以不同溫度烘乾時間測試

表 1：以日曬法烘乾咖啡果皮，追蹤質量與時間

日曬時間(分)	測試一(g)	測試二(g)	測試三(g)	溫度	濕度
0	10.0614	10.094	10.0509	19.1°C	66%
50	8.7635	8.9383	8.7667	26.3°C	48%
100	7.5169	7.7147	7.6002	29.4°C	43%
150	6.1704	6.3753	6.1106	30.5°C	44%
200	5.0222	5.3613	4.9802	26.7°C	48%
250	4.3583	4.7842	4.3215	25.5°C	49%
300	3.857	4.2343	3.7544	23.5°C	50%
350	3.6731	4.0366	3.5735	19.6°C	70%
400	3.0435	3.2494	2.9173	31.1°C	47%
450	2.7308	2.9464	2.6062	33.1°C	48%
500	2.592	2.7326	2.4999	27.8°C	50%
550	2.5591	2.6551	2.4797	22.8°C	61%
600	2.5444	2.6316	2.4712	22.2°C	62%

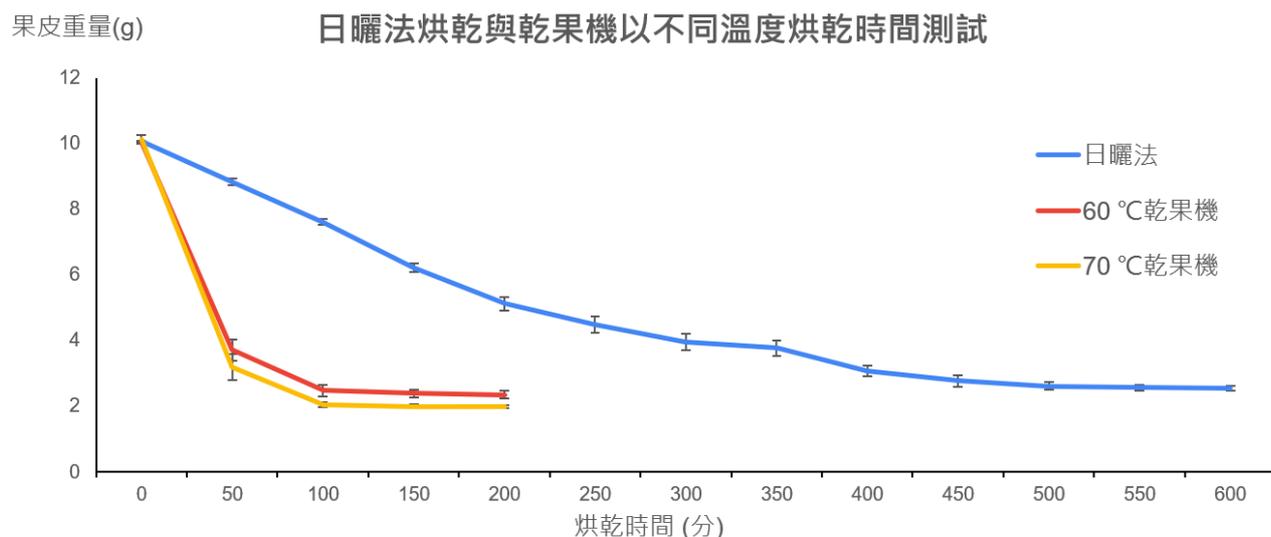


圖 4：日曬法烘乾與乾果機以不同溫度烘乾時間追蹤

討論：

1. 傳統日曬法會受天氣因素影響，有時太陽會被雲擋住，影響日曬時間；且中午溫度較高，早上跟下午溫度較低，溫度無法穩定，故烘乾時間會拉長很多，時常需要到第二天才能曬乾。
2. 乾果機烘乾法因為以穩定的溫度 60 °C、70 °C 去烘乾咖啡果皮，所以時間只要 200 分鐘以內就可以烘乾，節省很多時間，可以在當天就完成。
3. 日曬法、60 °C、70 °C 乾果機烘乾後的咖啡果皮，從實驗數據測量三者最後的含水量(Moisture Content)都不超過 3 %，後續實驗取相同重量的樣品進行抗氧化能力的差異。

【實驗 A2】 烘乾咖啡果皮的抗氧化力測試

前言：比較日曬、烘乾及沖泡時間對咖啡果皮萃取液抗氧化活性之影響。

步驟：

1. 操作變因：各種方式烘乾後的咖啡果皮，以不同的沖泡時間（1、2、3 分鐘）萃取
2. 以四位數防風電子天平取 5 克的 60 °C 乾果機烘乾咖啡果皮，共秤取三份：這三份咖啡果皮乾分別以 90 °C 150 毫升的水沖泡 1、2、3 鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 中的 60 °C 烘乾咖啡果皮乾改成 70 °C 與日曬法的烘乾咖啡果皮乾，並重複步驟 2 的實驗。

結果：

1. 乾果機烘乾與日曬法烘乾比較，乾果機烘乾的咖啡果皮抗氧化力顯著高於日曬法有顯著差異 ($P < 0.05$)。
2. 以 60 °C、70 °C 乾果機烘乾啡果皮，實驗結果發現 60 °C 的果皮抗氧化力比較好。
3. 沖泡時間為 1 分鐘的抗氧化力顯著低於 2、3 分鐘的抗氧化力，而 2、3 分鐘的抗氧化力結果落差較小



A. 秤取烘乾咖啡果皮 B. 以過濾壺進行萃取 C. 取萃取液進行滴定 D. 到達滴定終點溶液變色

圖 5：烘乾果皮以 0.1 N 碘液滴定測定抗氧化力

表 2：以乾果機 60 °C 烘乾果皮，萃取時間對滴定碘液抗氧化力的比較

萃取時間	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1 分鐘	4.40	4.20	4.30	4.30	0.10
2 分鐘	5.50	5.50	5.40	5.47	0.06
3 分鐘	5.70	5.60	5.70	5.67	0.06

表 3：以乾果機 70 °C 烘乾果皮，萃取時間對滴定碘液抗氧化力的比較

萃取時間	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1 分鐘	3.20	3.10	3.30	3.20	0.10
2 分鐘	5.10	5.10	5.20	5.13	0.06
3 分鐘	5.30	5.40	5.40	5.37	0.06

表 4：以日曬法烘乾果皮，萃取時間對滴定碘液抗氧化力的比較

萃取時間	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1 分鐘	2.40	2.50	2.20	2.37	0.15
2 分鐘	2.90	3.10	3.30	3.10	0.20
3 分鐘	3.20	3.50	3.40	3.37	0.15

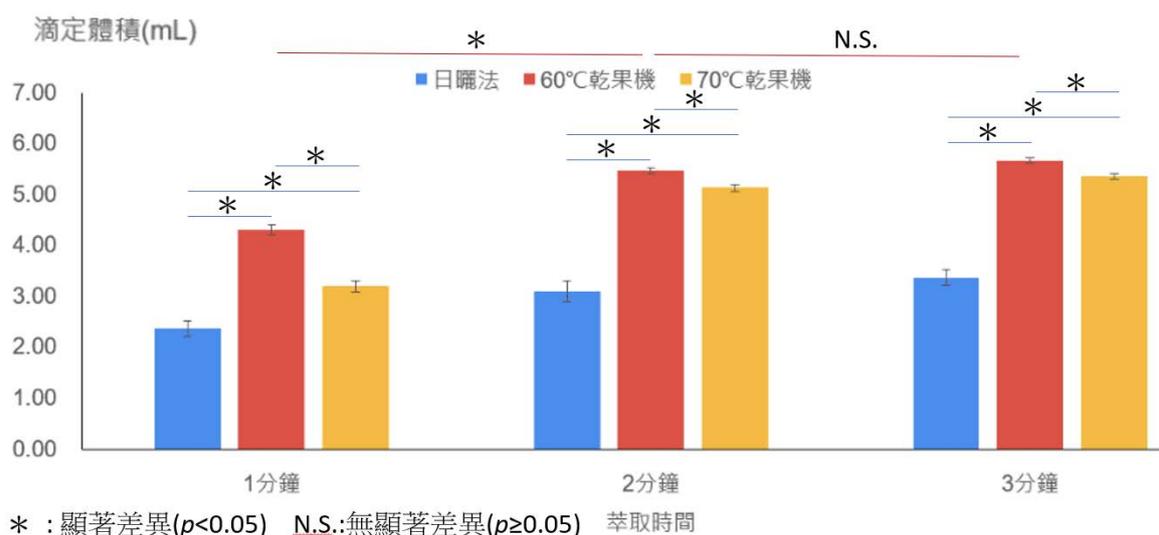


圖 6：不同烘乾果皮方式，比較萃取時間與抗氧化力的關係

討論：

1. 日曬法抗氧化力低於乾果機，所以我們之後都以乾果機為烘乾基準。
2. 使用乾果機分別以 60 °C、70 °C 烘乾啡果皮，實驗結果發現 60 °C 的果皮抗氧化力比較好，於是後來都是以 60 °C 乾果機來烘乾咖啡果皮作為實驗比較。
3. 60 °C、70 °C 乾果機烘乾、日曬法烘乾，以上三種以 90 °C 熱水萃取時間 2、3 分鐘差異不大，我們就以 2 分鐘為萃取時間為萃取時間基準。
4. 日曬法的抗氧化力較低的原因，可能是因為日曬所需的時間比較久，所以果皮接觸空氣的時間較多，因此衰弱了抗氧化力。
5. 日曬法曬乾跟乾果機烘乾的咖啡果皮比較，日曬法沖泡比較有酸味，而乾果機的比較甘甜，可能跟日曬法在空氣中放置時間較長氧化所致。

【實驗 A3】烘乾咖啡果皮放置天數的抗氧化力測試

前言：烘乾後的咖啡果皮，在放置一段時間後是否會影響抗氧化力

步驟：

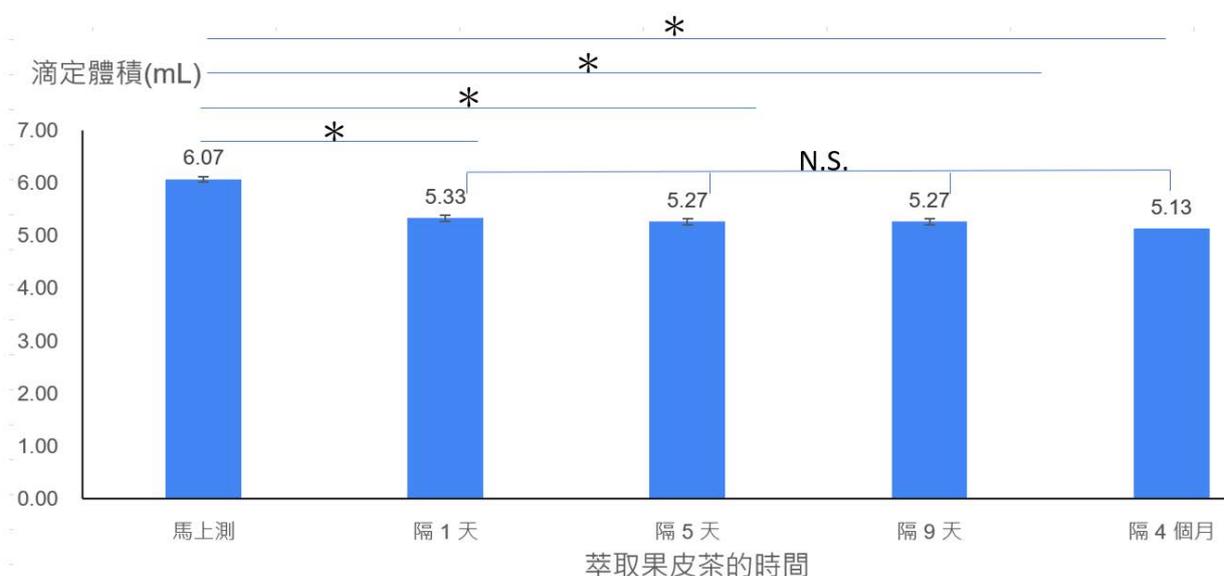
1. 操作變因：以 60 °C 乾果機烘乾的咖啡果皮，放置不同的天數後(第 0、1、5、9 天、4 個月)，再進行抗氧化力測定。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克當天烘乾的咖啡果皮，共秤取三份：這三份咖啡果皮乾分別以 90 °C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 的烘乾後咖啡果皮分別改成隔 1 天、隔 5 天、隔 9 天、隔 4 個月的咖啡果皮，並重複步驟 2 的實驗。

結果：

1. 烘乾後的咖啡果皮馬上去測，抗氧化力是滴定碘液 6 mL，這一批烘乾果皮放到隔天抗氧化力降為 5.3 mL，不過就算放置到第九天抗氧化力還是約 5.3 mL。
2. 代表烘乾後隔一天，抗氧化力一直到第九天還是維持約 5.3 mL，幾乎沒有在下降，會有某些抗氧化成分會在第一天氧化。
3. 烘乾果皮後在第二天到第九天並無顯著氧化能力差異。

表 5：乾果機以 60 °C 烘乾咖啡果皮，放置天數對滴定碘液抗氧化力的比較

烘乾後放置時間	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
馬上測	6.00	6.10	6.10	6.07	0.06
隔 1 天	5.40	5.30	5.30	5.33	0.06
隔 5 天	5.20	5.30	5.30	5.27	0.06
隔 9 天	5.30	5.20	5.30	5.27	0.06
隔 4 個月	5.20	5.10	5.10	5.13	0.06



*: 顯著差異 ($p < 0.05$) N.S.: 無顯著差異 ($p \geq 0.05$)

圖 7：乾果機以 60 °C 烘乾咖啡果皮，放置天數對滴定碘液抗氧化力的比較

討論：

1. 當天測的咖啡果皮的與其他放置時間的咖啡果皮抗氧化力差距較大，其中原因可能是果皮中的某些物質的活性很大，會在第一天就氧化掉。
2. 以乾果機 60°C 烘乾 200 分鐘後的咖啡果皮，因為快速烘乾，可以保存很多營養成分，除了隔一天抗氧化力部分會下降，其餘後面幾天都維持大約 5.3 mL。
3. 烘乾果皮後在隔一天後，抗氧化力一直到第 4 個月還是維持約 5.2 mL，幾乎沒有再下降了，表示快速烘乾後，抗氧化力在 1~120 天內抗氧化力幾乎沒有變化。

【實驗 A4】烘乾咖啡果皮回沖次數的抗氧化力比較

前言：以乾果機烘乾後的咖啡果皮，在多次沖泡其抗氧化力的比較

步驟：

1. 操作變因：以 60 °C 乾果機烘乾的咖啡果皮，以不同沖泡次數(第 1~5 次)，再進行抗氧化力測定。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克當天烘乾的咖啡果皮，共秤取三份：這三份咖啡果皮乾分別以 90 °C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)，紀錄為第 1 次沖泡。
3. 將步驟 2 沖泡後的咖啡果皮留下，並重複步驟 2 的實驗，紀錄為第 2~5 次沖泡。

結果：

1. 烘乾咖啡果皮第一次沖泡的抗氧化力是滴定碘液約為 5.17 mL，隨著沖泡次數 2~5 次抗氧化力逐漸下降。
2. 雖然隨著沖泡次數增加，抗氧化力下降，不過在沖泡到第四次時抗氧化力約 2.4 mL，也還保有原本第一次沖泡約一半。

表 6：乾果機以 60 °C 烘乾咖啡果皮，回沖次數對滴定碘液抗氧化力的比較

萃取次數	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1	5.2	5	5.3	5.17	0.15
2	4.6	4.4	4.4	4.47	0.12
3	3.3	3.4	3.2	3.30	0.10
4	2.5	2.3	2.5	2.43	0.12
5	2	2.1	2.2	2.10	0.10

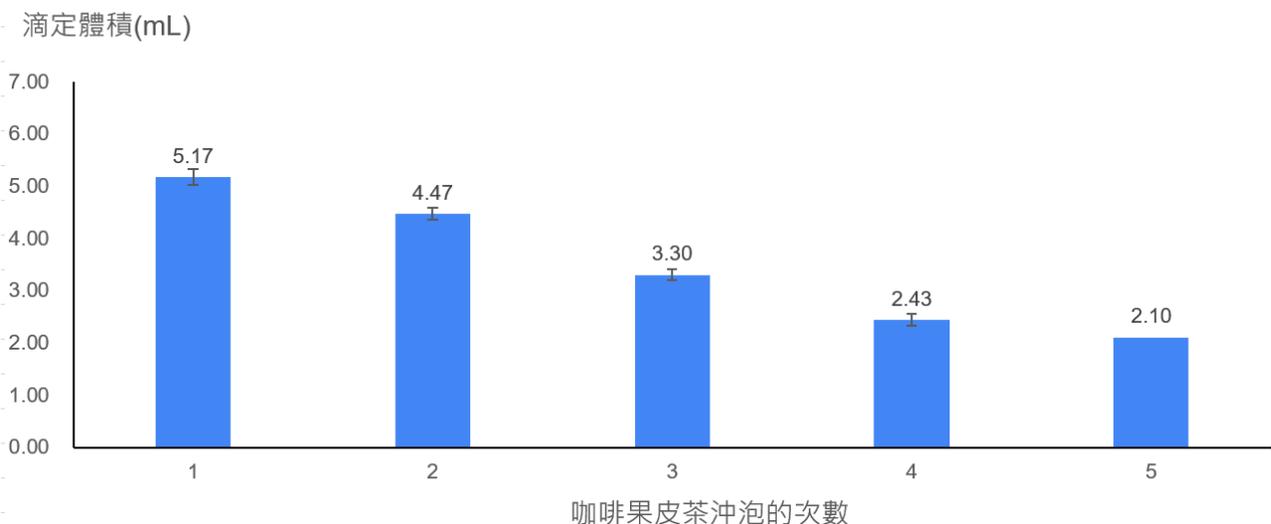


圖 8：乾果機以 60 °C 烘乾咖啡果皮，回沖次數對滴定碘液抗氧化力的比較

討論：

1. 烘乾咖啡果皮第一次沖泡的抗氧化力約為 5.17 mL，隨著沖泡次數 2~5 次抗氧化力逐漸下降，還能維持在 2 mL，還是有不錯的抗氧化力。
2. 雖然隨著沖泡次數增加抗氧化力下降，不過在沖泡到第四次時抗氧化力還有 2.4 mL，代表咖啡果皮茶還滿耐沖泡的。

B、不同條件下製作的咖啡果皮抗氧化力測試

【實驗 B1】不同海拔、是否施肥的咖啡樹，其咖啡果皮抗氧化力測試

前言：測試不同海拔與有無施肥，是否會影響咖啡果皮的抗氧化力。

步驟：

1. 操作變因：以 60 °C 乾果機烘乾的咖啡果皮，用不同海拔與季節的咖啡果皮（採取 800 公尺的咖啡豆與 1200 公尺的咖啡豆進行比較），再進行抗氧化力測定。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克 800 公尺烘乾的咖啡果皮，共秤取三份：這三份咖啡果皮乾分別以 90 °C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 的烘乾後咖啡果皮改成 1200 公尺的咖啡果皮，並重複步驟 2 的實驗。

結果：

1. 海拔較高(1300 m)的咖啡果皮抗氧化力(7.53 mL)，比海拔較低(800 m)的咖啡果皮抗氧化力(6.9 mL)還要好，但無顯著差異。
2. 而相同海拔(800 m)，有施肥照顧的咖啡果皮抗氧化力(6.9 mL)顯著較沒有施肥照顧的(2.7 mL)還要高。



A. 採集位於海拔 800 m 學校內的咖啡果實，沒有施肥

B. 採集位於海拔 800 m 咖啡小農的咖啡果實，平時有施肥

C. 採集位於海拔 1300 m 咖啡小農的咖啡果實，平時有施肥

圖 9：到各指定地點採集實驗所需的咖啡果實

表 7：乾果機烘乾不同海拔、施作之咖啡果皮(12 月)，比較滴定碘液抗氧化力的差異

相同時節，不同地點	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
學校咖啡(800m)	2.90	2.50	2.70	2.70	0.20
樟湖小農(800m)	6.90	6.90	6.90	6.90	0.00
石壁小農(1300m)	7.50	7.60	7.50	7.53	0.06

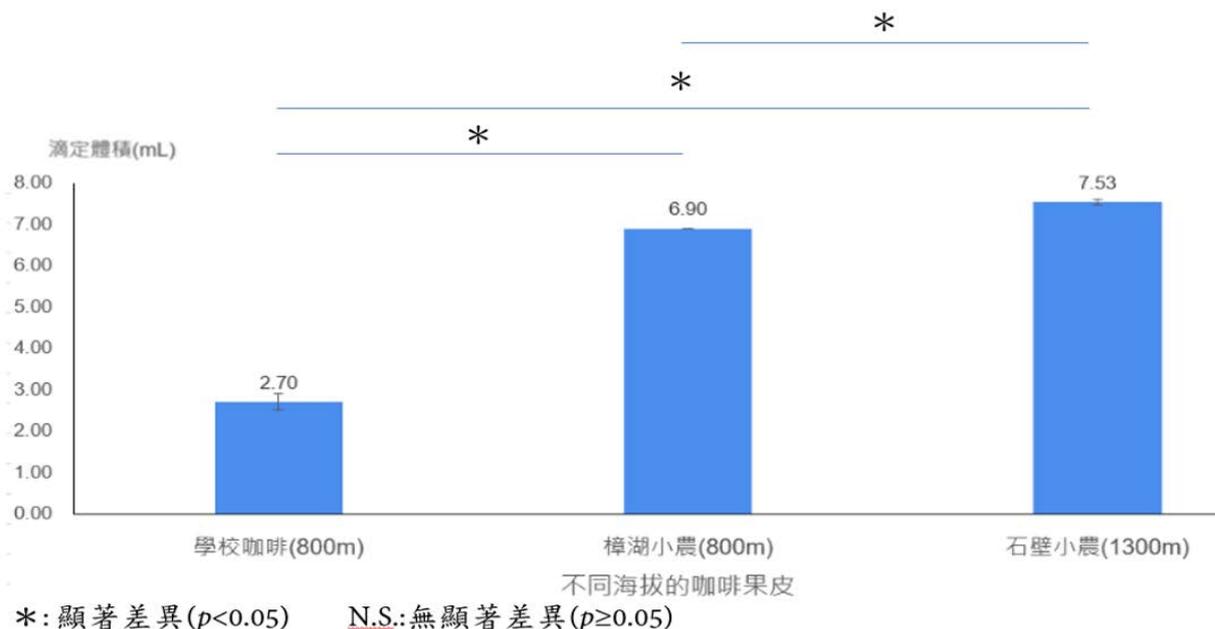


圖 10：乾果機烘乾不同海拔、施作之咖啡果皮(12 月)，比較滴定碘液抗氧化力的差異

討論：

1. 平常有在施肥照顧的咖啡樹其果實營養成分比較高，也有較高的抗氧化力。
2. 不同海拔間的果皮茶在抗氧化力上雖無顯著差異，可能是溫度較低，成長較緩慢，抗逆境能力較好，累積抗氧化物質較豐富。

【實驗 B2】同一地點不同時節的咖啡果樹，其咖啡果皮抗氧化力測試

前言：同地點的咖啡果樹，比較不同的生長時節，是否會影響咖啡果皮的抗氧化力。

步驟：

1. 操作變因：以 60 °C 乾果機烘乾的咖啡果皮，取不同時節的咖啡果皮數(12 月、1 月的咖啡樹)，再進行抗氧化力測定。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克 12 月份烘乾的咖啡果皮，共秤取三份：這三份咖啡果皮乾分別以 90 °C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 的烘乾後咖啡果皮改成 1 月份咖啡果皮，並重複步驟 2 的實驗。

結果：

1. 我們採收同地點不同時節生長的咖啡果實，烘乾製作成咖啡果皮茶，12 月份的咖啡果皮測得抗氧化力是 5.47 mL，1 月份測得的抗氧化力是 6.37 mL。
2. 我們計算雲林古坑在咖啡果實成長期的平均氣溫，採取每日的最高溫進行統計，12 月採收的咖啡果實，成長期是 8~11 月，每日最高溫的平均溫度是 29°C^[8]；1 月採收的咖啡果實，成長期是 9~12 月，每日最高溫的平均溫度是 27°C^[8]。

表 8：乾果機烘乾同一地點、不同時節咖啡果皮，比較滴定碘液抗氧化力的差異

同一果農，不同時節採收	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
樟湖小農(800m，12月)	5.50	5.50	5.40	5.47	0.06
樟湖小農(800m，1月)	6.30	6.40	6.40	6.37	0.06

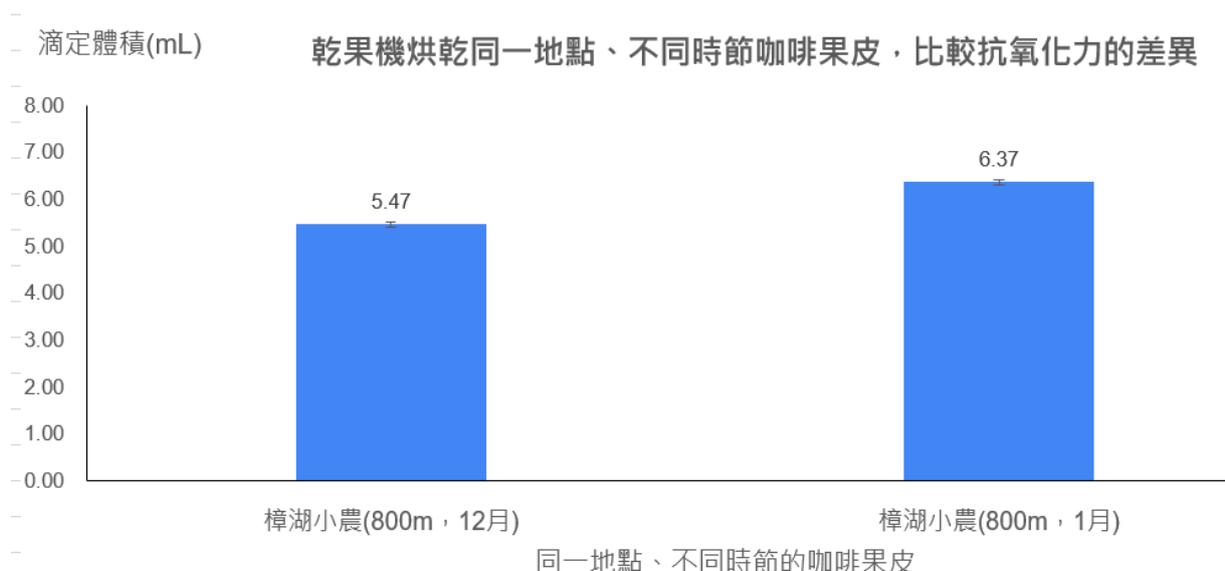


圖 11：乾果機烘乾同一地點、不同時節咖啡果皮，比較滴定碘液抗氧化力的差異

討論：

1. 我們統計咖啡果實成長期，1 月份的平均氣溫為 27 °C 比 12 月份的平均氣溫 29 °C 還要低，抗氧化力是 1 月份比 12 月份好，溫度可能是影響的因素。
2. 發現在越冷的季節，烘乾咖啡果皮的抗氧化力會更高，可能是遇冷成長較緩慢，或是為了防寒，抗逆境能力較好。

【實驗 B3】日曬法的抗氧化力較低，紫外光對抗氧化力的影響

前言：經過前面的實驗我們發現，日曬法的抗氧化力比乾果機烘乾的咖啡果皮抗氧化力還低，所以我們想確認紫外線是否為影響抗氧化力的主因。

步驟：

1. 操作變因：在室內烘箱放紫外光燈（模擬日曬的溫度，只有送風）烘咖啡果皮比較與在外日曬咖啡果皮的差異。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克紫外光燈烘乾的咖啡果皮，共秤取三份：這三份咖啡果皮乾分別以 90 °C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 的烘乾後咖啡果皮改成日曬咖啡果皮，並重複步驟 2 的實驗。



A. 日曬法曬乾咖啡果皮



B. 以乾果機模擬日曬溫度，照相同時間紫外光



C. 日曬法 VS 紫外光 烘乾後咖啡果皮



D. 進行抗氧化力測試

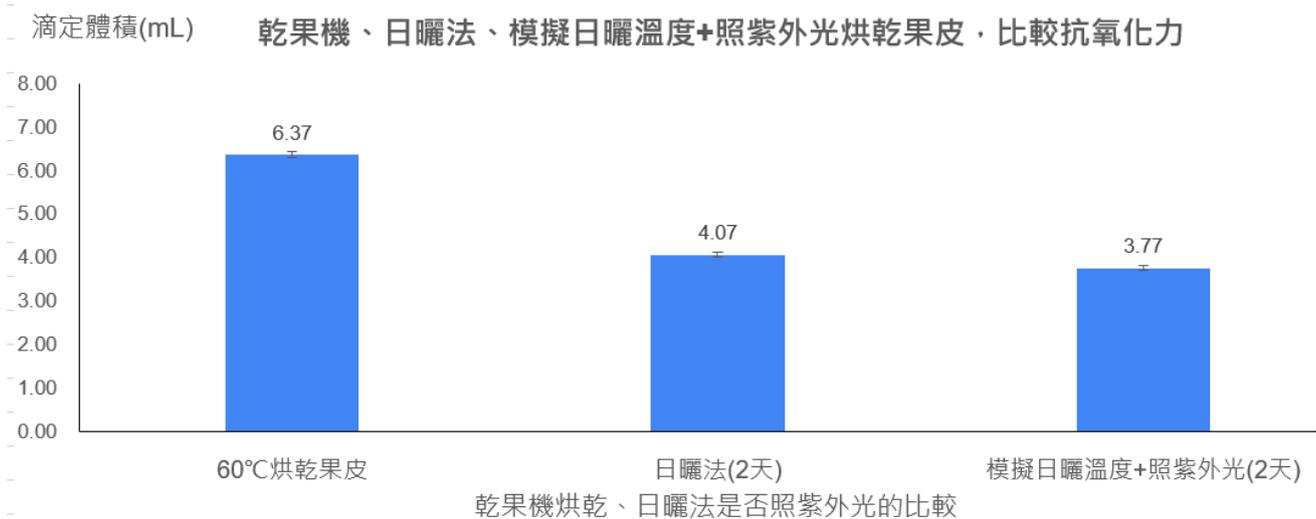
圖 12：日曬法的抗氧化力較低，紫外光對抗氧化力的影響

結果：

1. 60 °C 烘乾果皮只利用 200 分鐘即烘乾，就可以收集起來靜置；不過日曬法與模擬日曬+照紫外光都必須放到第二天共 600 分鐘才能烘乾。
2. 日曬法曬乾的咖啡果皮抗氧化力是(4.07 mL)，模擬日曬+照紫外光的咖啡果皮抗氧化力是(3.77 mL)，有稍微下降。

表 9：乾果機、日曬法、模擬日曬溫度+照紫外光烘乾果皮，比較抗氧化力

不同咖啡果皮處理方式	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
60 °C 烘乾果皮(200 分鐘)	6.30	6.40	6.40	6.37	0.06
日曬法(2 天)	4.00	4.10	4.10	4.07	0.06
模擬日曬溫度+照紫外光(2 天)	3.80	3.80	3.70	3.77	0.06

**圖 13：乾果機、日曬法、模擬日曬溫度+照紫外光烘乾果皮，比較抗氧化力****討論：**

1. 60 °C 烘乾果皮只利用 200 分鐘即烘乾，就可以收集起來靜置；不過日曬法與模擬日曬+照紫外光都必須放到第二天共 600 分鐘才能烘乾，在外跟氧氣長時間接觸，可能是抗氧化力下降的主因。
2. 日曬法曬乾的咖啡果皮抗氧化力是 4.07 mL，模擬日曬+照紫外光的咖啡果皮抗氧化力是 3.77 mL，有稍微下降，照此外光可能會破壞抗氧化力；不過比較乾果機烘乾法的抗氧化力是 6.37 mL，烘乾時間只有 200 分鐘即可，就可以包裝起來，而日曬法要兩天，跟空氣長時間接觸，可能是乾果機與日曬法差異最大的主因。

C、其他水果乾與茶葉抗氧化力跟咖啡果皮比較的比較

【實驗 C1】其他水果的烘乾時間測試

前言：將水果以乾果機不同的方式去烘乾，在設定乾果機在不同溫度下烘乾，比較所需乾燥時間，作為後續實驗的依據。

步驟：

1. 操作變因：不同水果，有柳丁、芭樂、蘋果、檸檬、奇異果、柿子。
2. 以四位數防風電子天平取 10 克的水果共三份，將此三份咖啡果皮置於乾果機中，並設定 60 °C 開始烘乾，每 50 分鐘測量一次質量，監控質量變化無明顯變化即停止。

結果：1. 各種水果烘乾時間不盡相同，大約在 550 分鐘後各種水果幾乎烘乾



A. 各種不同水果



B. 將水果切成碎片



C. 將每一份精準秤重



D. 以 60 °C 乾果機開始進行烘乾



E. 進行質量與時間追蹤



F. 最後烘乾的各種水果乾

圖 14：其他水果的烘乾時間測試

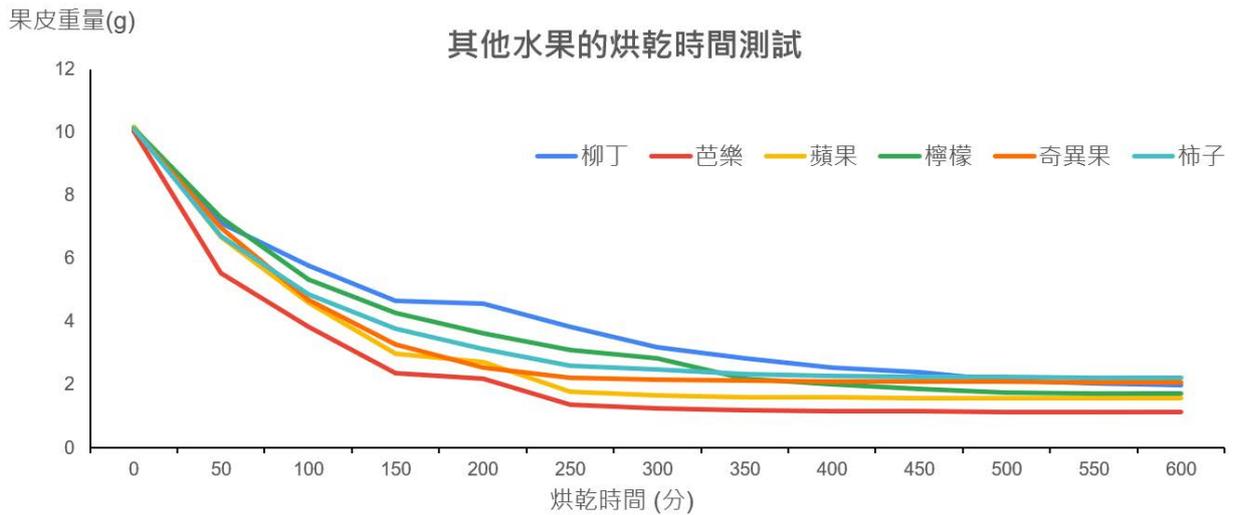


圖 15：其他水果的烘乾時間測試

討論：

1. 乾果機烘乾法因為以穩定的溫度 60 °C，只要 550 分鐘以內就可以烘乾，節省很多時間，可以在當天就完成，才不會影響水果的抗氧化力。
2. 水果的烘乾時間與咖啡果皮的烘乾時間不一樣長，因為水果的含水率比咖啡果皮還高，因此我們統一把水果、咖啡果皮都烘 600 分鐘。
3. 以 60 °C 乾果機烘乾後的各種水果乾，從實驗數據計算最後的含水量(Moisture Content)都不超過 3%，後續實驗取相同重量的樣品進行抗氧化能力的差異。

【實驗 C2】各種水果乾的抗氧化力測試

前言：為了有相同的比較基準，將水果烘乾成水果乾再進行抗氧化力測試，並跟我們製作咖啡果皮茶的抗氧化力做比較。

步驟：

1. 操作變因：以 60°C 乾果機烘乾的各種水果(果乾大小相近)，再進行抗氧化力測定。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克烘乾的檸檬乾，共秤取三份：這三份檸檬乾分別以 90°C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 的烘乾後檸檬改成奇異果、柿子、柳丁、蘋果、芭樂，並重複步驟 2 的實驗。

結果：咖啡果皮茶比市面上抗氧化最好的芭樂水果乾比較起來顯著具有較好的抗氧化力。

表 10：乾果機、日曬法、模擬日曬溫度+照紫外光烘乾果皮，比較抗氧化力

不同咖啡果皮處理方式	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
60°C 烘乾果皮(200 分鐘)	6.30	6.40	6.40	6.37	0.06
日曬法(2 天)	4.00	4.10	4.10	4.07	0.06
模擬日曬溫度+照紫外光(2 天)	3.80	3.80	3.70	3.77	0.06

表 11：各種水果乾滴定碘液抗氧化力的比較

各式水果乾	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
柳丁	1.20	1.30	1.30	1.27	0.06
蘋果	0.60	0.70	0.70	0.67	0.06
芭樂	2.10	2.10	2.00	2.07	0.06
檸檬	1.70	1.60	1.70	1.67	0.06
奇異果	0.90	1.00	1.00	0.97	0.06
柿子	1.60	1.60	1.60	1.60	0.00
樟湖小農	6.30	6.40	6.40	6.37	0.06
石壁小農	7.30	7.20	7.20	7.23	0.06

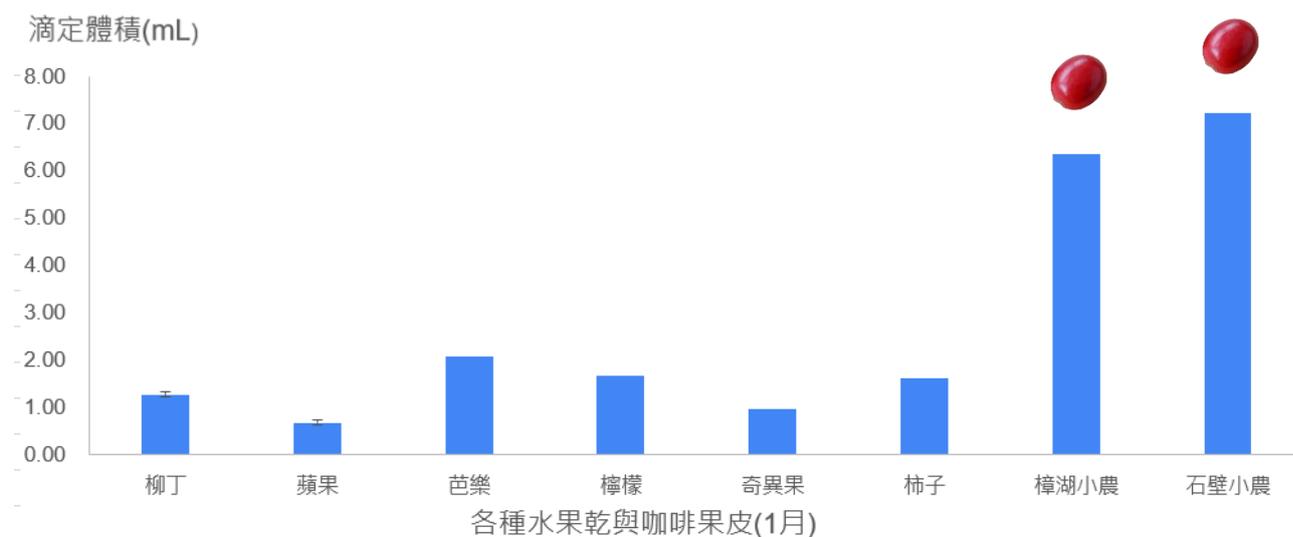


圖 16：各種水果乾滴定碘液抗氧化力的比較

討論：

1. 咖啡果皮茶比抗氧化最好的芭樂水果乾比較起來還要好。
2. 此實驗為了有相同的比較基準，所以將所有水果烘乾成水果乾再進行測試，結果為咖啡果皮茶有較好的成效。

【實驗 C3】各種茶葉的抗氧化力測試

前言：測試各種不同茶葉的抗氧化力，並跟我們製作咖啡果皮茶的抗氧化力做比較。

步驟：

1. 操作變因：各種茶葉(茶葉大小相近)，進行抗氧化力測定。
2. 以四位數防風電子天平取 5 克烘乾的綠茶，共秤取三份：這三份綠茶分別以 90°C 150 mL 的水沖泡 2 分鐘，以過濾壺過濾後，再各取 100 mL 的萃取液，分別加入 10 滴的澱粉指示劑，再以 0.1N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 的烘乾後檸檬改成阿里山高山茶、武陵茶、鹿谷烏龍茶、紅茶、菊花茶、雞角刺，並重複步驟 2 的實驗。

結果：

1. 茶類的抗氧化力與製作過程有明顯的影響，未發酵的綠茶 13.47 mL 最高，低發酵的阿里山高山茶次之 6.87 mL，接著是半發酵的烏龍茶 5~3.97 mL，全發酵的紅茶是 3.47 mL，為茶葉類的最低，另外菊花茶只有 1.27 mL；比較意外的是老師的國寶茶雞角刺竟然有 4.47 mL。
2. 我們的咖啡果皮茶在所有茶類比較中竟然僅次於綠茶，大概跟低發酵的阿里山高山茶一樣好的抗氧化力。



綠茶滴定前



綠茶滴定後



阿里山高山茶滴定前



阿里山高山茶滴定後



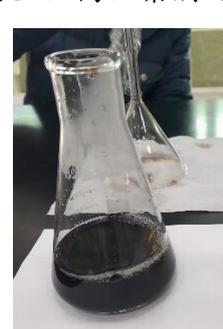
鹿谷烏龍茶滴定前



鹿谷烏龍茶滴定後



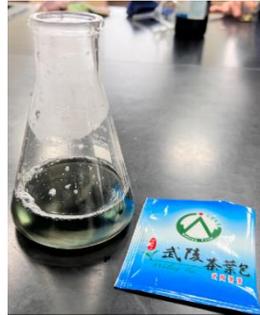
杉林溪烏龍茶滴定前



杉林溪烏龍茶滴定後



武陵烏龍茶滴定前



武陵烏龍茶滴定後



紅茶滴定前



紅茶滴定後



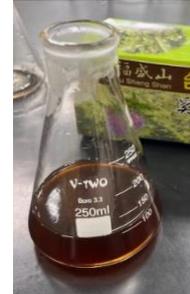
菊花茶滴定前



菊花茶滴定後



雞角刺滴定前



雞角刺滴定後

圖 17：各種茶葉滴定前後比較

表 12：各種茶類滴定碘液的抗氧化力

各式茶葉	以 0.1N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
綠茶	13.40	13.50	13.50	13.47	0.06
阿里山高山茶	6.90	6.90	6.80	6.87	0.06
武陵烏龍茶	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
鹿谷烏龍茶	4.40	4.40	4.50	4.43	0.06
杉林溪烏龍茶	4.00	4.00	3.90	3.97	0.06
紅茶	3.50	3.50	3.40	3.47	0.06
菊花茶	1.30	1.20	1.30	1.27	0.06
雞角刺	4.50	4.50	4.40	4.47	0.06
樟湖小農	6.30	6.40	6.40	6.37	0.06
石壁小農	7.30	7.20	7.20	7.23	0.06

滴定體積(mL)

各種茶類滴定碘液抗氧化力的比較

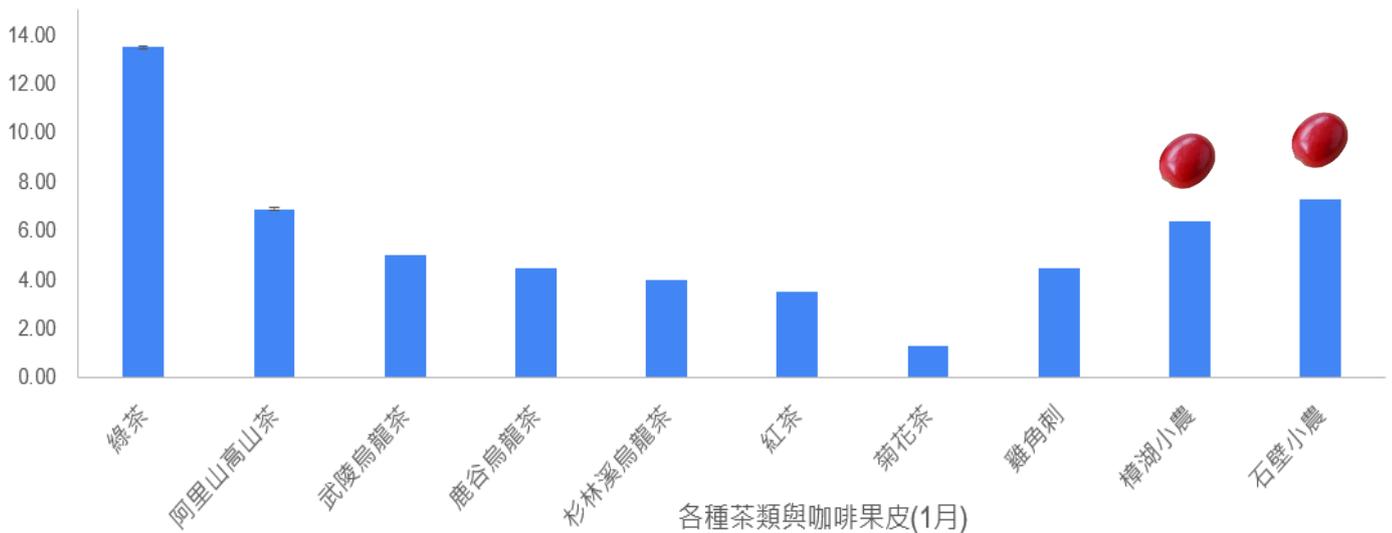


圖 18：各種茶類滴定碘液的抗氧化力

討論：

1. 茶類的抗氧化力與製作過程有明顯的影響，未發酵的綠茶 13.47 mL 最高，低發酵的阿里山高山茶次之 6.87 mL，接著是半發酵的烏龍茶 5~3.97 mL，全發酵的紅茶是 3.47 mL，為茶葉類的最低，另外菊花茶只有 1.27 mL；比較意外的是老師的國寶茶雞角刺竟然有 4.47 mL。
2. 我們的咖啡果皮茶在所有茶類比較中僅次於綠茶，大概跟低發酵的阿里山高山茶相近的抗氧化力^[5]。

【實驗 C4】瓶裝茶的抗氧化力測試

前言：測試市售瓶裝茶的抗氧化力，並跟我們製作咖啡果皮茶的抗氧化力做比較。

步驟：

1. 操作變因：選取各種無糖市售瓶裝茶(御茶園日式無糖綠茶、原翠無糖烏龍茶、雙鮮綠茶、原翠無糖綠茶)，進行抗氧化力測定。
2. 取 100 mL 的御茶園日式無糖綠茶，共取三份，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積(mL)。
3. 將步驟 2 御茶園日式無糖綠茶改成原翠無糖烏龍茶、雙鮮綠茶、原翠無糖綠茶，並重複步驟 2 的實驗。

結果：

1. 比較御茶園 6.8 mL 與原翠烏龍茶 7.83 mL 這兩款烏龍茶，都比原茶葉烏龍茶沖泡的 5.0 mL 還要高，於是查閱其飲料添加成分裡，發現有額外添加抗壞血酸鈉，也就是維他命 C，可能是市售瓶裝茶是有額外添加抗氧化劑才會比原茶葉沖泡的還要高。
2. 雙纖綠茶 6.13 mL、原翠綠茶 10.87 mL 比原茶葉綠茶萃取出來的 13.4 mL 還要低。



A. 市售瓶裝茶



B. 標示添加維他命 C



C. 進行抗氧化力測試

圖 19：瓶裝茶的抗氧化力測試

表 13：瓶裝茶滴定碘液抗氧化力的比較

市售瓶裝茶(無糖)	以 0.1 N 碘液滴定的體積 (mL)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
御茶園	6.60	6.80	7.00	6.80	0.20
原萃烏龍茶	7.70	7.90	7.90	7.83	0.12
雙纖綠茶	6.10	6.10	6.20	6.13	0.06
原萃綠茶	10.90	10.80	10.90	10.87	0.06
樟湖小農	6.30	6.40	6.40	6.37	0.06
石壁小農	7.30	7.20	7.20	7.23	0.06

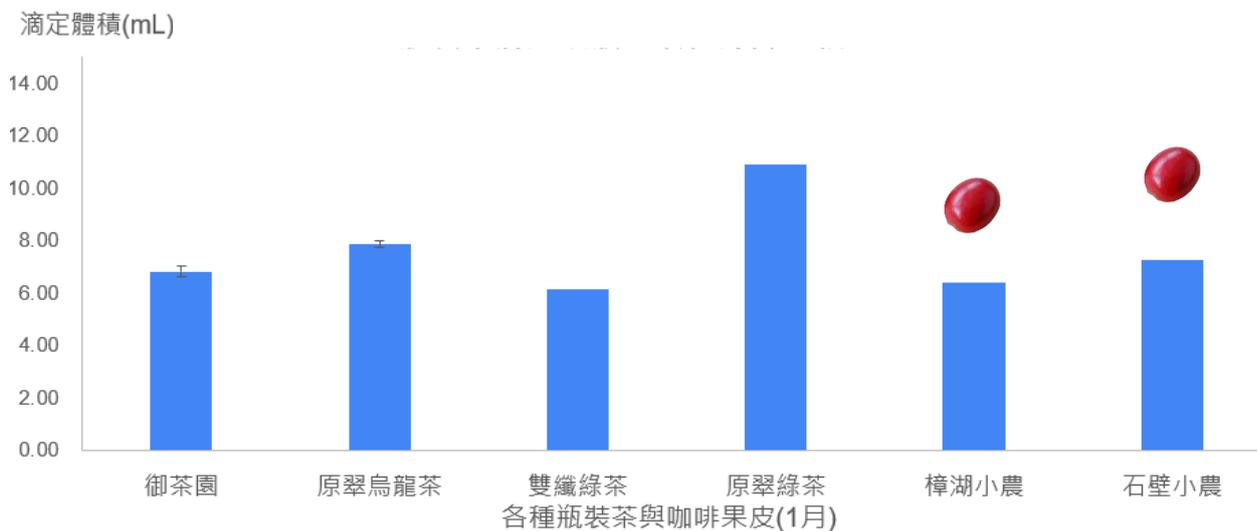


圖 20：瓶裝茶的抗氧化力測試

討論：

1. 我們發現市售的瓶裝茶因需要長期保存，所以都添加了抗壞血酸鈉(維他命 C)，所以有可能是市售瓶裝烏龍茶的抗氧化力會比茶葉還要高的原因。
2. 所以我們之後拿一般茶包、茶葉來與咖啡果皮做比較，我們咖啡果皮茶的抗氧化力僅次於綠茶，相當於烏龍茶的等級，是滿好的成果^[5]。
3. 若是要喝天然健康的飲料，我們的咖啡果皮茶是有好的抗氧化力又健康。

【實驗 C5】測定不同濃度維他命 C 的抗氧化力

前言：維他命 C 是很好的抗氧化劑，我們想知道之前測定出來的碘液體積可以換算成維他命 C 相對多少濃度。我們配製不同濃度維他命 C，以 1.0 N 碘液進行滴定，做成線性回歸圖，即可推算咖啡果皮萃取液中抗氧化力約相當於多少維他命 C 的濃度。

步驟：

1. 操作變因：不同濃度的維他命 C (1000 ppm、750 ppm、500 ppm、250 ppm、100 ppm、10 ppm) 進行抗氧化力的測定。
2. 不同濃度的維他命 C 配置：
 - (1) 1000 ppm：秤 0.5 g 的維他命 C 粉，加入 500 mL 水，均勻混合。
 - (2) 750 ppm：取 1000 ppm 的維他命 C 150 mL 加入 50 mL 的水，均勻混合
 - (3) 500 ppm：取 1000 ppm 的維他命 C 150 mL 加入 150 mL 的水，均勻混合。
 - (4) 250 ppm：取 500 ppm 的維他命 C 150 mL 加入 150 mL 的水，均勻混合。
 - (5) 100 ppm：取 250 ppm 的維他命 C 100 mL 加入 150 mL 的水，均勻混合。
 - (6) 10 ppm：取 100 ppm 的維他命 C 20 mL 加入 180 mL 的水，均勻混合。
3. 分別取 100 mL 不同濃度的維他命 C (1000 ppm、750 ppm、500 ppm、250 ppm、100 ppm、10 ppm)，再以 0.1 N 的碘液進行碘直接滴定法，滴定至變色，紀錄滴定所需的碘液體積 (mL)。

結果：

1. $y = 0.0209x + 0.0139$ 以此公式帶入，可以獲得各樣品滴定 0.1 N 碘液後，相對應是多少 ppm 的維他命 C 的抗氧化力。



A. 不同濃度維他命 C 滴定前



B. 不同濃度維他命 C 滴定後

圖 21. 測定不同濃度維他命 C 的抗氧化力

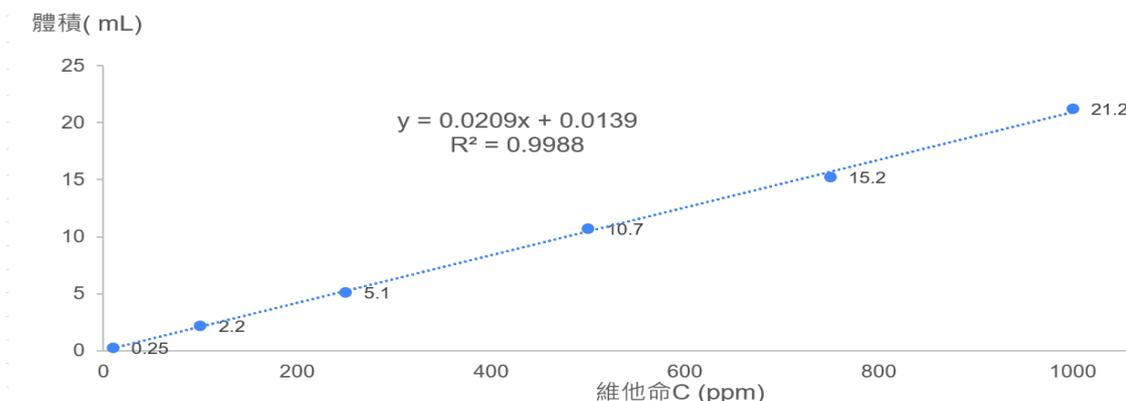


圖 22. 測定不同濃度維他命 C 的抗氧化力

表 14：各待測物的抗氧化力換算成相對應濃度的維他命 C(ppm)

檢測品項 (皆烘乾後萃取測量)	滴定 0.1 N 碘液滴定(mL)	換算相同抗氧化力的 維他命 C 濃度(ppm)	排名
綠茶	13.47	643.83	1
石壁小農(1300 m)	7.53	359.62	2
樟湖小農(800 m)	6.90	329.48	3
阿里山高山茶	6.87	328.04	4
武陵烏龍茶	5.00	238.57	5
雞角刺	4.47	213.21	6
鹿谷烏龍茶	4.43	211.30	7
杉林溪烏龍茶	3.97	189.29	8
紅茶	3.47	165.36	9
芭樂	2.07	98.38	10
檸檬	1.67	79.24	11
柿子	1.60	75.89	12
柳丁	1.27	60.10	13
菊花茶	1.27	60.10	14
奇異果	0.97	45.75	15
蘋果	0.67	31.39	16

結論：

1. 以此公式算出各種品項的抗氧化力相當於多少濃度(ppm)維他命 C 的抗氧化力。
2. 古坑地區生產的咖啡果皮，若依照我們實驗條件所製作出來的咖啡果皮茶，跟其他品項也是烘乾萃取來比較，是僅次於為未發酵的綠茶，相當於高山茶、烏龍茶的抗氧化力。

D、咖啡果皮茶商品化之探討

【實驗 D1】咖啡果皮茶官能品評之測試

前言：本實驗針對日曬法曬乾、60℃乾果機、70℃乾果機烘乾的咖啡果皮，熱水沖泡後進行官能品評喜好性測試，希望瞭解消費者對咖啡果皮茶各種特性之喜好接受程度。

步驟：

1. 實驗變因：日曬法曬乾 / 60℃乾果機烘乾 / 70℃乾果機烘乾的咖啡果皮茶。
2. 利用學校下課時段與社團活動隨機邀請校內師生，進行喜好性感官品評試驗。
3. 問卷部分分為「口感」、「味道」、「循環經濟」、「購買意願」等四個大項目進行評分。其中「口感」部分採用九分制喜好性品評法。品評項目包括：三種試喝品以三種代號表示，一個樣品使用一張品評表，品評表完全相同。為避免次序效應，樣品之供應順序隨機排列。
4. 將品評測試完畢之評分表上呈現：極度不喜歡、非常不喜歡、有點不喜歡、稍微不喜歡、沒有喜歡或不討厭、稍微喜歡、有點喜歡、非常喜歡及極度喜歡等九個等級選項，轉換成 1 到 9 分，進行數據記錄分析。
5. 將品評數據利用 google 表單、Excel 軟體進行統計分析，檢測日曬法曬乾 / 60℃乾果機烘乾 / 70℃乾果機烘乾的咖啡果皮三者之間是否具有顯著差異。

結果：

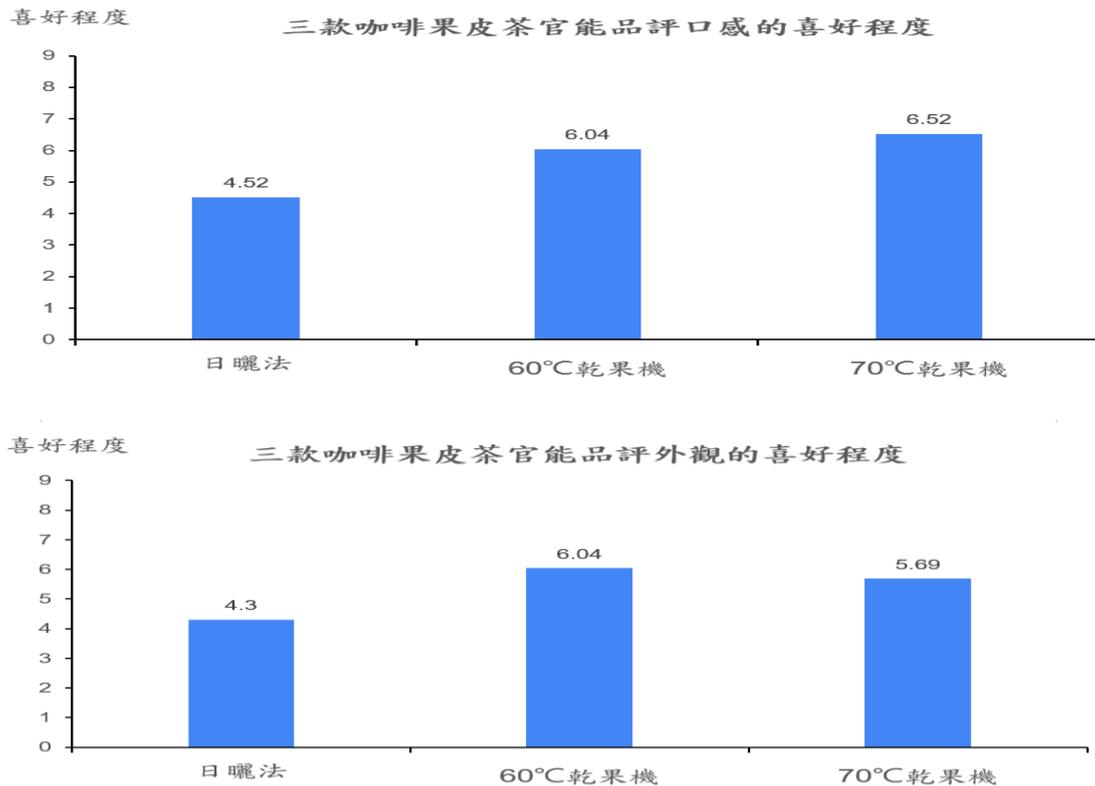


圖 23 三款咖啡果皮茶官能品評的喜好程度

1. 受試者問卷結果顯示以乾果機烘乾的咖啡果皮口感比較甘甜、滑順，比較沒有傳統日曬法的酸味。
2. 受試者對乾果機烘乾的咖啡果皮茶感覺比較有龍眼香與甘蔗香，60°C 乾果機多了玉米鬚香，70 °C 乾果機多了枸杞香，傳統曬法比較有中藥味。
3. 從圖 22 顯示，受試者對 60 °C 跟 70 °C 乾果機烘乾的咖啡果皮茶之喜好程度高於傳統曬法，但 60 °C 跟 70 °C 乾果機二者並沒有顯著差異(信賴水準 95%)。
4. 乾果機的外觀有較高喜好程度，又以 60 °C 稍微高於 70 °C；60 °C 和 70°C 沒有顯著差異，不過 60 °C 和 70 °C 都有顯著差異($p < 0.05$)。

討論：

1. 目前市面上有販售的咖啡果皮茶通常採用的是「日曬法」，但品評結果受試者對「日曬法」之喜好程度最低。本實驗採用的「乾果機烘乾法」可以快速烘乾，除了比較沒有日曬法的酸味外，更可以保留豐富的營養成分，有較高的抗氧化力。
2. 由本實驗得知，受試者大部分(87%)知道咖啡果皮會被當作農業廢棄物丟棄或堆肥，不過卻只有 34.8%的人知道可以做成咖啡果皮茶；經由本次官能品評問卷測試後，所有受試者都願意支持把農業廢棄物——咖啡果皮再利用，讓它變得有循環經濟價值。
3. 問卷結果顯示，受試者在品嚐過咖啡果皮茶之後對「乾果機烘乾法」有較高的喜好程度，並有九成的受試者願意購買，證明「乾果機烘乾法」確實具有很高的商品化價值。
4. 乾果機的外觀有較高喜好程度，可能是快速烘乾果皮比較不會變黑；60 °C 稍微高於 70 °C，可能是烘乾溫度較低，果皮烘乾後比較有淡紅色，對試飲者比較有好感。
5. 多位試飲者表示，對於咖啡果皮茶會以**口感重於外觀**，也就是說只要好喝就會有購買意願，外觀是其次。
6. 試飲者在問卷中建議，未來可以加入冰飲或加料，例如珍珠、粉條、寒天等，**增加產品的多樣性**，使消費者年齡層更廣，推廣到社區。

陸、研究結論

一、實驗結論

A、咖啡果皮最佳烘乾方式與時間

1. 因為日曬法受天氣因素影響大，有時太陽會被雲擋住，影響日曬時間；且中午溫度較高，早上跟下午溫度較低，溫度無法穩定，故烘乾時間會拉長很多，要到第二天才能曬乾。
2. 乾果機烘乾法因為以穩定的溫度 60 °C、70 °C 去烘乾咖啡果皮，所以時間只要 200 分鐘以內就可以烘乾，節省很多時間，可以在當天就完成。
3. 日曬法抗氧化力低於乾果機，所以我們之後都以乾果機為烘乾基準。
4. 使用乾果機分別以 60 °C、70 °C 烘乾啡果皮，實驗結果發現 60 °C 的果皮抗氧化力比較好，於是後來都是以 60 °C 乾果機來烘乾咖啡果皮作為實驗比較。
5. 60 °C、70 °C 乾果機烘乾、日曬法烘乾，以上三種以 90 °C 熱水萃取時間 2、3 分鐘差異不大，我們就以 2 分鐘為萃取時間為萃取時間基準。
6. 日曬法的抗氧化力較低的原因，可能是因為示曬所需的時間比較久，所以果皮接觸空氣的時間較多，因此衰弱了抗氧化力
7. 日曬法曬乾跟乾果機烘乾的咖啡果皮比較，日曬法沖泡比較有酸味，而乾果機的比較甘甜，可能跟日曬法在空氣中放置時間較長氧化所致。
8. 當天測的咖啡果皮的與其他放置時間的咖啡果皮抗氧化力差距較大，其中原因可能是果皮中的某些物質的活性很大，會在第一天就氧化掉。
9. 以乾果機 60 °C 烘乾 200 分鐘後的咖啡果皮，因為快速烘乾，可以保存很多營養成分，除了隔一天抗氧化力部分會下降，其餘後面幾天都維持大約 5.3 mL。
10. 烘乾果皮後在隔一天後，抗氧化力一直到第 4 個月還是維持約 5.2 mL，幾乎沒有再下降了，表示快速烘乾後，抗氧化力在 1~120 天內抗氧化力幾乎沒有變化。
11. 烘乾咖啡果皮第一次沖泡的抗氧化力約為 5.17 mL，隨著沖泡次數 2~5 次抗氧化力逐漸下降，還能維持在 2 mL，還是有不錯的抗氧化力。
12. 雖然隨著沖泡次數增加抗氧化力下降，不過在沖泡到第四次時抗氧化力還有 2.4 mL，代表咖啡果皮茶還滿耐沖泡的。

B、不同條件下製作的咖啡果皮抗氧化力測試

1. 越高海拔的咖啡果皮，抗氧化力可能就會越好，可能是溫度較低，成長較緩慢，抗逆境能力較好，累積抗氧化物質較豐富。
2. 可能平常有在施肥照顧的咖啡樹其果實營養成分比較高，也有較高的抗氧化力。
3. 發現在越冷的季節，烘乾咖啡果皮的抗氧化力會更高，可能是遇冷成長較緩慢，或是為了防寒，抗逆境能力較好。

4. 60 °C 烘乾果皮只利用 200 分鐘即烘乾，就可以收集起來靜置；不過日曬法與模擬日曬+照紫外光都必須放到第二天共 600 分鐘才能烘乾，在外跟氧氣長時間接觸，可能是抗氧化力下降的主因。
5. 日曬法曬乾的咖啡果皮抗氧化力是 4.07 mL，模擬日曬+照紫外光的咖啡果皮抗氧化力是 3.77 mL，有稍微下降，照此外光可能會破壞抗氧化力；不過比較乾果機烘乾法的抗氧化力是 6.37 mL，烘乾時間只有 200 分鐘即可，就可以包裝起來，而日曬法要兩天，跟空氣長時間接觸，可能是乾果機與日曬法差異最大的主因。

C、其他水果乾與茶葉抗氧化力跟咖啡果皮比較的比較

1. 乾果機烘乾法因為以穩定的溫度 60 °C，只要 550 分鐘以內就可以烘乾，節省很多時間，可以在當天就完成，才不會影響水果的抗氧化力。
2. 水果的烘乾時間與咖啡果皮的烘乾時間不一樣長，因為水果的含水率比咖啡果皮還高，因此我們統一把水果、咖啡果皮都烘 600 分鐘。
3. 咖啡果皮茶比市面上抗氧化最好的芭樂水果乾比較起來還要好。
4. 茶類的抗氧化力與製作過程有明顯的影響，未發酵的綠茶 13.47 mL 最高，低發酵的阿里山高山茶次之 6.87 mL，接著是半發酵的烏龍茶 5~3.97 mL，全發酵的紅茶是 3.47mL，為茶葉類的最低，另外菊花茶只有 1.27 mL；比較意外的是國寶茶雞角刺竟然有 4.47 mL。
5. 我們的咖啡果皮茶在所有茶類比較中竟然僅次於綠茶，大概跟低發酵的阿里山高山茶一樣好的抗氧化力。
6. 我們發現市售的無糖瓶裝茶因需要長期保存，所以都添加了抗壞血酸鈉，所以有可能是市售瓶裝烏龍茶的抗氧化力會比茶葉還要高的原因。
7. 所以我們之後拿一般茶包、茶葉來與咖啡果皮做比較，我們咖啡果皮茶的抗氧化力僅次於綠茶，相當於烏龍茶的等級，是滿好的成果。

D、咖啡果皮茶商品化之探討

1. 目前市面上有販售的咖啡果皮茶通常採用的是「日曬法」，但品評結果受試者對「日曬法」之喜好程度最低。本實驗採用的「乾果機烘乾法」可以快速烘乾，除了比較沒有日曬法的酸味外，更可以保留豐富的營養成分，有較高的抗氧化力。
2. 由本實驗得知，受試者大部分(87%)知道咖啡果皮會被當作農業廢棄物丟棄或堆肥，不過卻只有 34.8% 的人知道可以做成咖啡果皮茶；經由本次官能品評問卷測試後，所有受試者都願意支持把農業廢棄物--咖啡果皮再利用，讓它變得有循環經濟價值^[9]。
3. 問卷結果顯示，受試者在品嚐過咖啡果皮茶之後對「乾果機烘乾法」有較高的喜好程度，並有九成的受試者願意購買，證明「乾果機烘乾法」確實具有很高的商品化價值。
4. 乾果機的外觀有較高喜好程度，可能是快速烘乾果皮比較不會變黑；又以 60 °C 稍微高於 70 °C，可能是烘乾溫度較低，果皮烘乾後還能比較有淡紅色，對試飲者比較有好感。
5. 多位試飲者表示，對於咖啡果皮茶會以口感重於外觀，也就是說只要好喝就會有購買意願，外觀是其次。

二、具體貢獻

1. 希望能讓大家重視喝一杯咖啡所創造出來的廢棄物是很多的，若是在每個過程加以注意，及可以減少廢棄物的產生，或是將廢棄物再利用，創造新價值；因為我們當地盛產咖啡，期待可以將這些方法應用在我們當地的小農，期盼能對環境與經濟有幫助。
2. 研究一個有別於日曬法之外的咖啡果皮乾燥方式，可以提供農民方便快捷，又可以好保存，並保存優良的抗氧化能力。
3. 本實驗希望具體將咖啡果皮的抗氧化能力進行研究，並且跟市面上常見的水果乾與茶葉進行比較，發現咖啡果皮茶的抗氧化力優於其他水果乾，並且抗氧化力跟烏龍茶相近，可說是相當優異。
4. 咖啡果皮茶可以依照實驗結果，加強產品的宣傳效果，由實驗結果顯示若能有效宣傳可以提升消費者的購買能力。
5. 將實驗成果分享給當地咖啡小農，並研究如何回收咖啡果皮來進行生產，進一步小農也在跟老師討論申請食農計畫，希望能將此方式實際應用於生產，創造循環經濟。

柒、參考文獻

1. Wang Y B, Kuang Y, Li G M, et al. (2020). Extraction and Antioxidant Activity of Polyphenols from Coffee Bean Peels [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 35(6) : 682-690.
2. ZHANG Y H, FU X P, LIANG W J, et al. (2016). Antioxidant activity and composition of anthocyanins of crude extracts from Yunnan Arabica coffee husk [J]. Food Science and Technology, 41 (5) : 219-223. (in Chinese).
3. 黃閔渝、林欣理、陳冠樺(2012)，大家來找「茶」-茶抗氧化力之探討。中華民國第52屆中小學科學展覽會優勝作品。
4. 陳威翰、蘇煥鈞、周傳益(2010)，我是「地」一名-地瓜葉抗氧化力之探討。中華民國第50屆中小學科學展覽會優勝作品。
5. 林育如(2011)。市售包裝綠茶飲料之抗氧化能力比較。國立台灣海洋大學食品科學系碩士學位論文。
6. 崔斯坦·史蒂文森;周沛郁譯(2016)，咖啡的科學，台北市：方言文化。
7. 農廢物變黃金 暨大竟用咖啡果皮研發蔗香果茶(2021)。聯合報。民110年4月4日，取自：<https://udn.com/news/story/6928/5365333>
8. The weather channel, <https://pse.is/44auh>
9. 特輯：牡蠣殼轉製碳酸鈣-實現循環經濟。台灣糖業公司。
<https://www.taisugar.com.tw/CSR/cp2.aspx?n=12237>

【評語】 030202

此實驗係將農業廢棄物咖啡果皮為原料，利用碘還原反應，具系統的探討比較咖啡、果皮的抗氧化能力及與其它水果、茶之抗氧化能力，研究議題包括: A.咖啡果皮最佳烘乾方式與時間; B.不同條件下製作的咖啡果皮抗氧化力測試; C.其他水果乾與茶葉抗氧化力跟咖啡果皮比較的比較; D.咖啡果皮茶商品化之探討。研究一個有別於日曬法之外的咖啡果皮乾燥方式，可以提供農民方便快捷，又可以好保存，並保存優良的抗氧化能力。藉由研究成果，提供社區小農實作的參考並促進經濟發展。

作品簡報

咖啡廢棄物再利用 ——咖啡果皮之研究

國中組 化學科



研究動機

研究方法



學校位於咖啡產區



我們發現果皮大多被當作廢棄物、肥料使用



想把咖啡果皮
廢棄物再利用

(抗氧化物質)

還原



黃褐色

無色

與澱粉液反應

藍黑色

無色



A. 秤取烘乾咖啡果皮。



B. 以過濾壺進行萃取。



C. 取萃取液進行滴定。 D. 到達滴定終點溶液變色



【烘乾咖啡果皮的時間追蹤】

果皮重量(g)

日曬法烘乾與乾果機以不同溫度烘乾時間測試

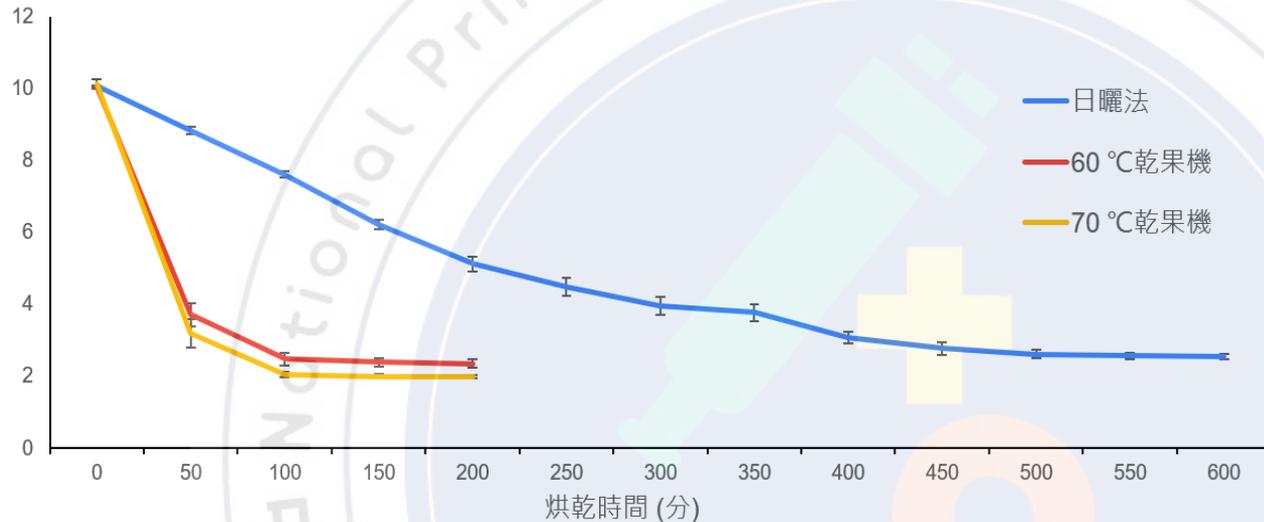
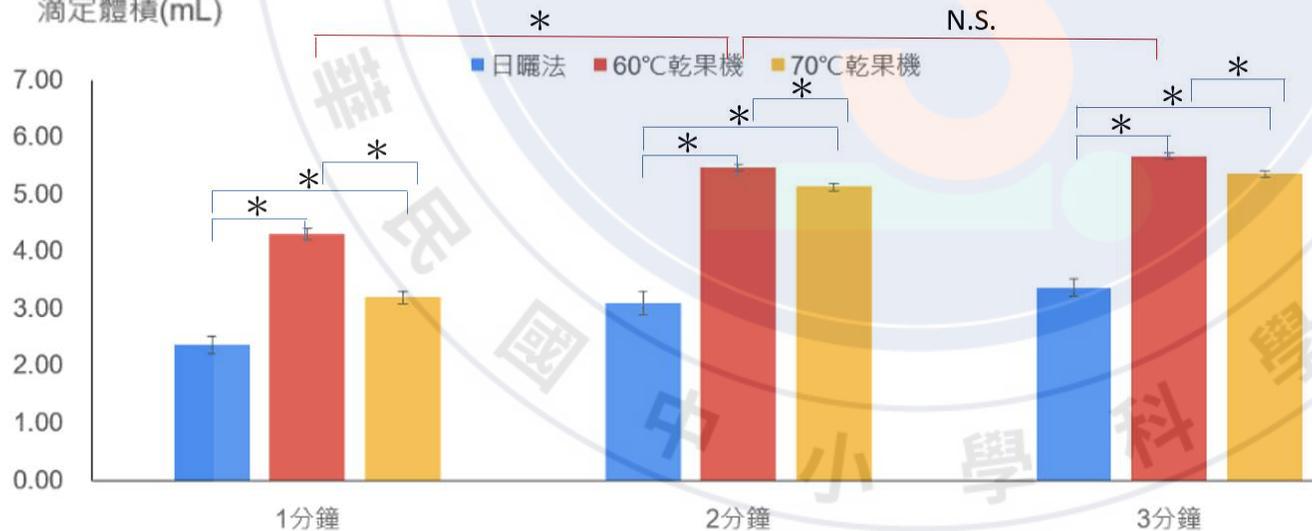


圖1.日曬法與乾果機以不同溫度烘乾時間測試

日曬法乾燥要500分鐘
乾果機只要200分鐘

【烘乾咖啡果皮的抗氧化力測試】

滴定體積(mL)

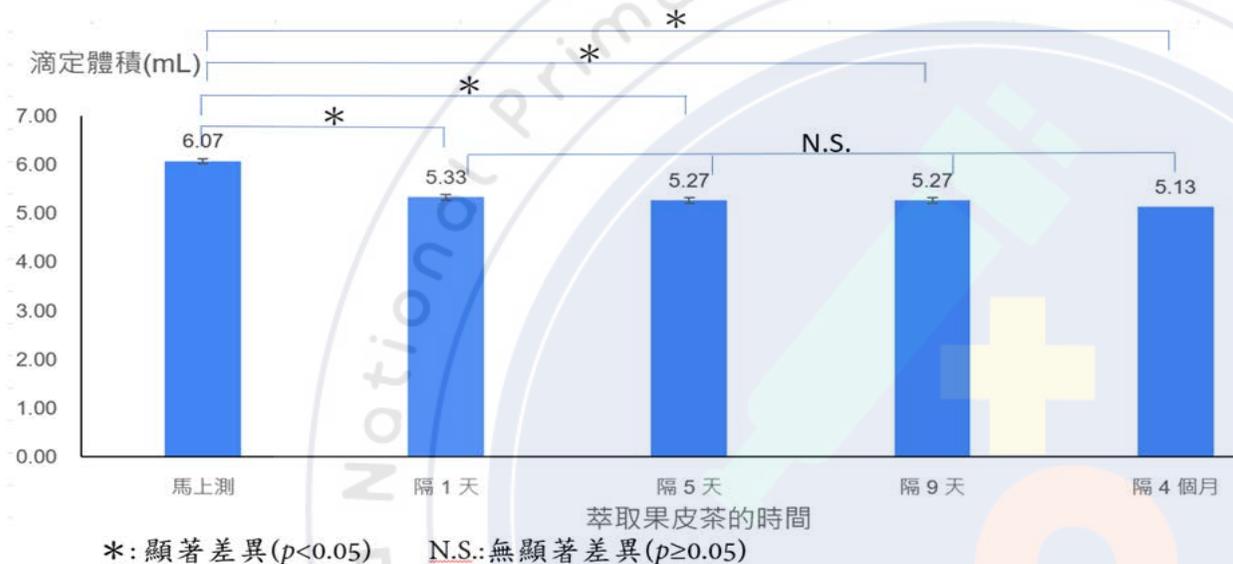


60 °C的抗氧化力較好
以2分鐘為萃取時間

圖2.烘乾咖啡果皮的抗氧化力測試

* : 顯著差異($p < 0.05$) N.S.: 無顯著差異($p \geq 0.05$) 萃取時間

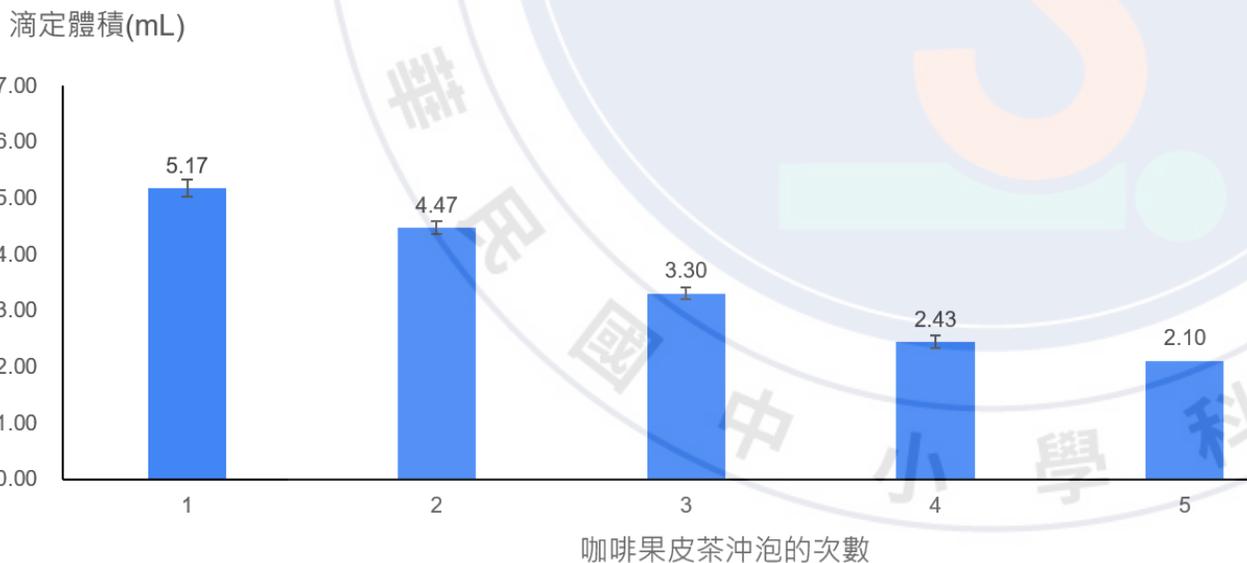
【烘乾咖啡果皮放置天數的抗氧化力測試】



果皮抗氧化力在第1天稍微下降
在2~120天內幾乎沒有變化。

圖3.果皮放置天數的抗氧化力測試

【烘乾咖啡果皮回沖次數的抗氧化力比較】



抗氧化力隨沖泡次數逐漸下降，
到第5次還能維持在2 mL
表示咖啡果皮在多次沖泡後
還能保有不錯的抗氧化力

圖4.果皮回沖次數抗氧化力的比較

A

B 抗氧化力測試

C

D

【不同海拔、是否施肥的咖啡樹,其咖啡果皮抗氧化力測試】

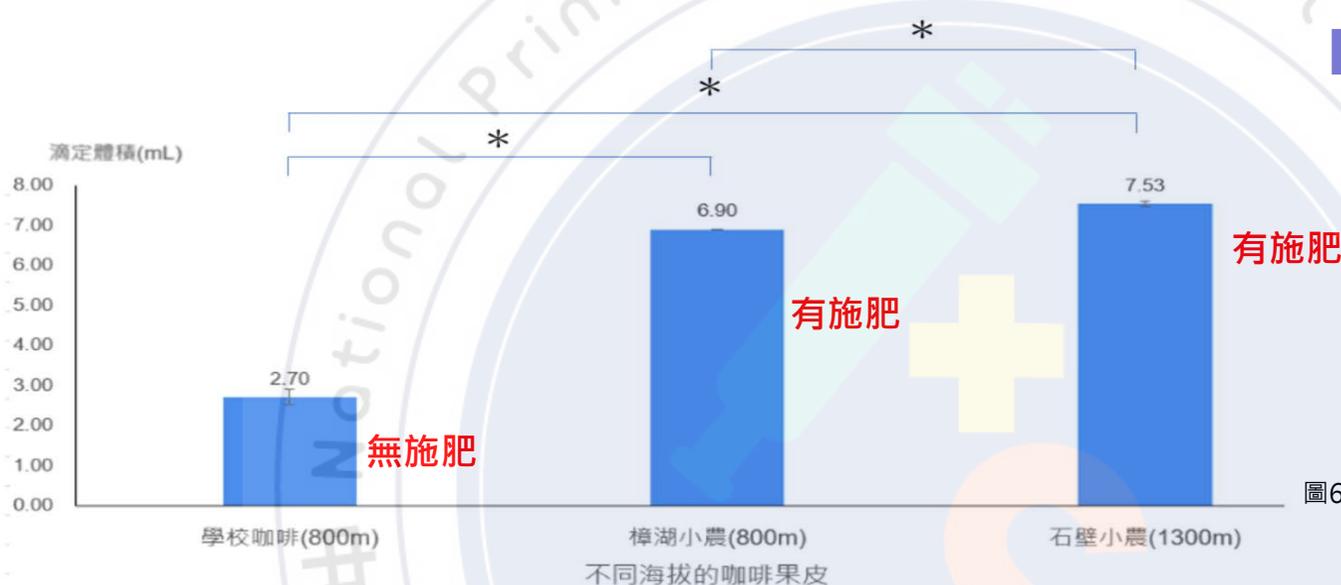
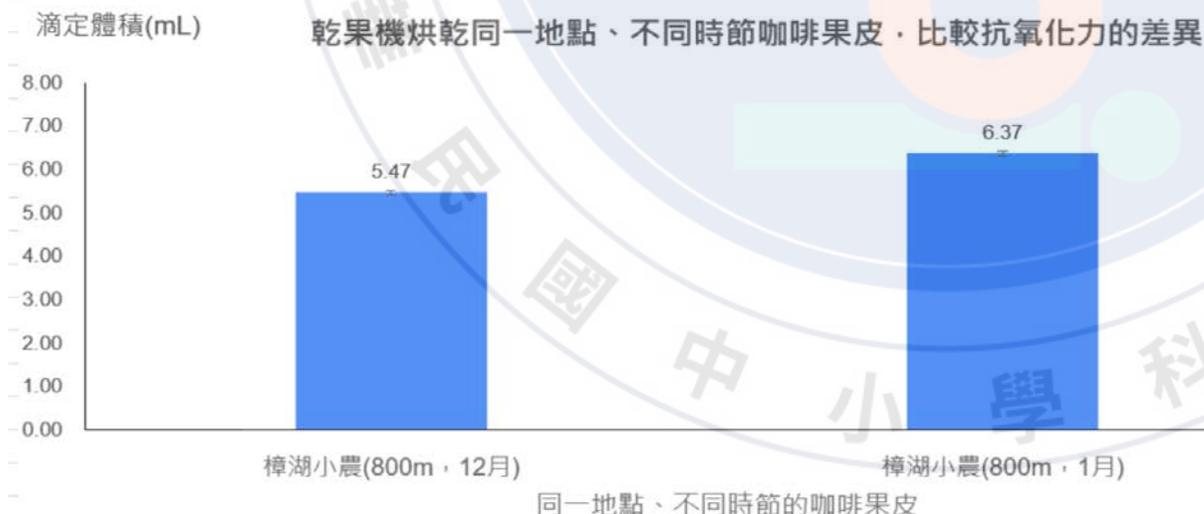


圖6.不同海拔、有無施肥之抗氧化力比較

有施肥的咖啡果實有較高的抗氧化力。
海拔較高的咖啡果實有較高的抗氧化力。

【同一地點不同時節的咖啡果樹,其咖啡果皮抗氧化力測試】



1月採收(均溫27°C)比
12月採收(29°C)抗氧化力較好

*成長期為四個月

*溫度以當天最高溫進行平均

圖7.同一地點不同時間採收之抗氧化力比較

A

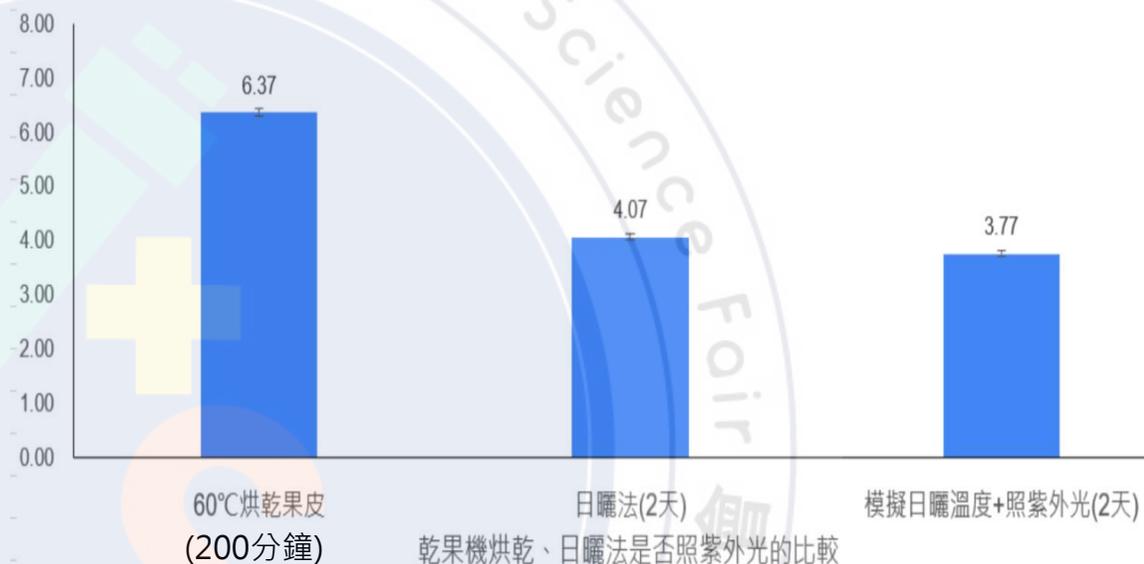
B 抗氧化力測試

C

D

【紫外光對抗氧化力的影響】

滴定體積(mL) 乾果機、日曬法、模擬日曬溫度+照紫外光烘乾果皮，比較抗氧化力



模擬日曬+照紫外光(2天)的抗氧化力比日曬法(2天)有稍微下降，推斷紫外光會破壞抗氧化劑

不過日曬法(2天)比乾果機法(200分鐘)的抗氧化力比低不少，依照此實驗結果判斷，紫外光破壞抗氧化劑應該不是主因，可能是曬乾過程中日曬法果皮與空氣長時間接觸而氧化，可能是抗氧化力下降的主因。



A. 日曬法曬乾咖啡果皮，烘乾後咖啡果皮



C. 日曬法 VS 紫外光
烘乾後咖啡果皮



B. 以乾果機模擬日曬溫度，照相同時間紫外光



D. 進行抗氧化力測試

A

B

C 水果、茶葉的抗氧化力比較

D

【以60°C乾果機烘乾水果時間測試】

【各種水果乾的抗氧化力測試】



A.各種不同水果



B.將水果切成碎片



C.將每一份精準秤重



D.以 60°C 乾果機開始進行烘乾



E.進行質量與時間追蹤



F.最後烘乾的各種水果乾

滴定體積(mL)

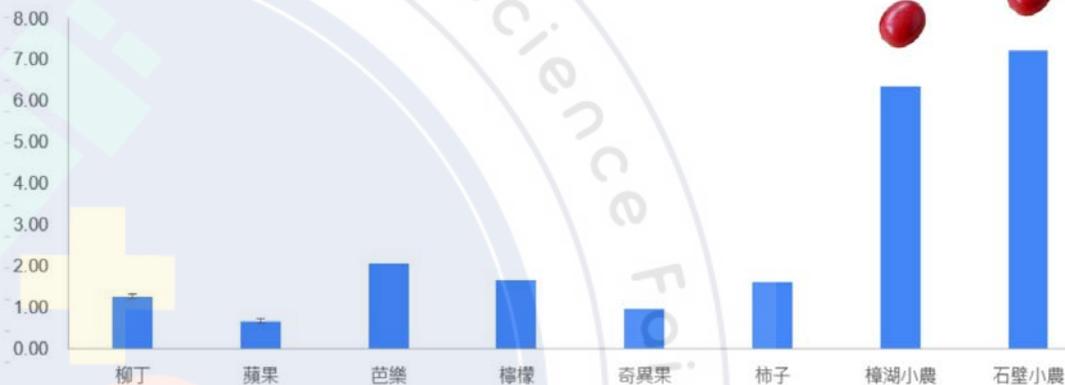
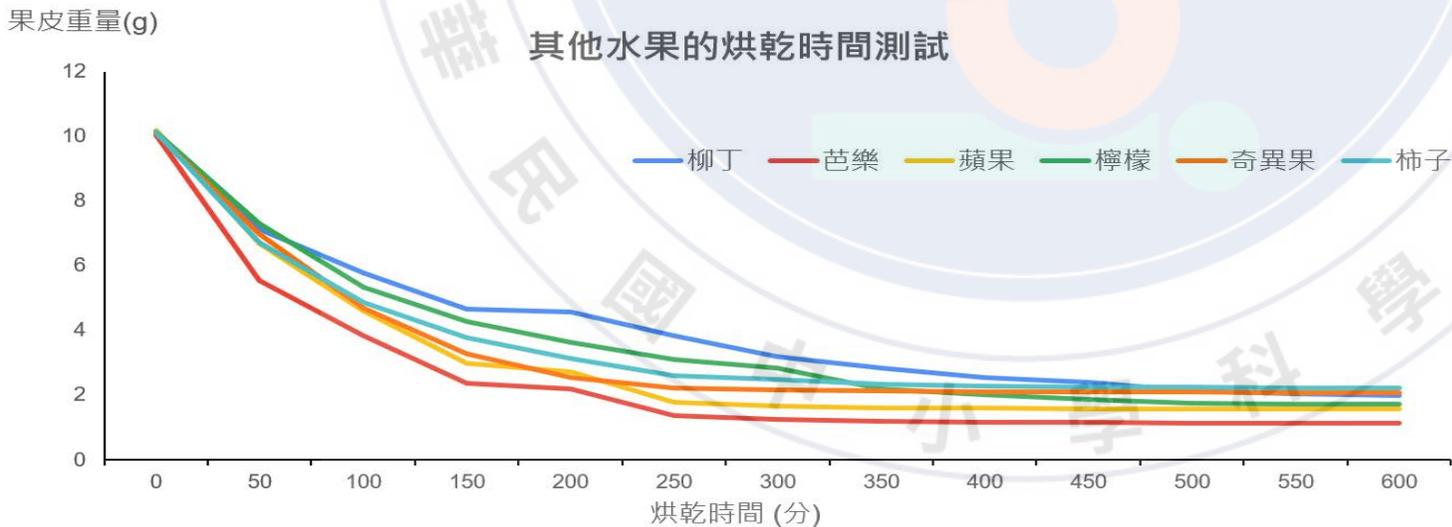


圖9:各種水果乾的抗氧化力測試

其他水果的烘乾時間測試



咖啡果皮茶與市面上常見的水果乾比較，有更好的抗氧化力。

也比著名的芭樂乾有顯著更好的抗氧化力。

圖8.以60°C乾果機烘乾水果時間測試

A B C水果、茶葉的抗氧化力比較 D

【各種茶葉與瓶裝茶的抗氧化力測試】

抗氧化力排名：

滴定體積(mL)



未發酵綠茶
↓
咖啡果皮茶
↓
低發酵的阿里山茶
↓
半發酵的烏龍茶
↓
全發酵的紅茶

滴定體積(mL)

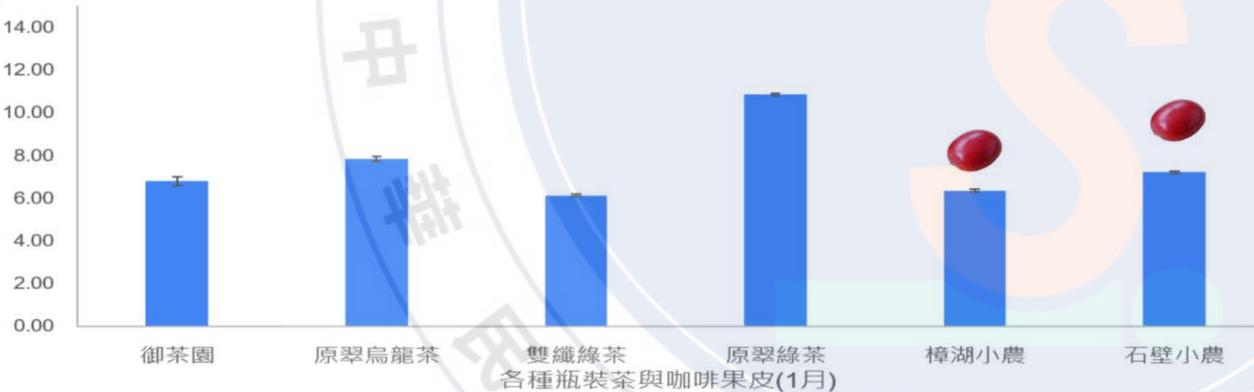


圖10:茶類抗氧化力比較



瓶裝烏龍茶比原茶葉沖泡烏龍茶的抗氧化力還要高

我們好奇原因，於是查閱瓶裝茶成分表，發現有額外添加抗維他命C，可能是瓶裝烏龍茶抗氧化力增加的主因

A. 市售瓶裝茶

B. 標示添加維他命C

C. 進行抗氧化力測試

圖11:瓶裝茶抗氧化力比較



A

B

C水果、茶葉的抗氧化力比較

D

【各項物質的滴定碘液體積相對應多少濃度的維他命C?】

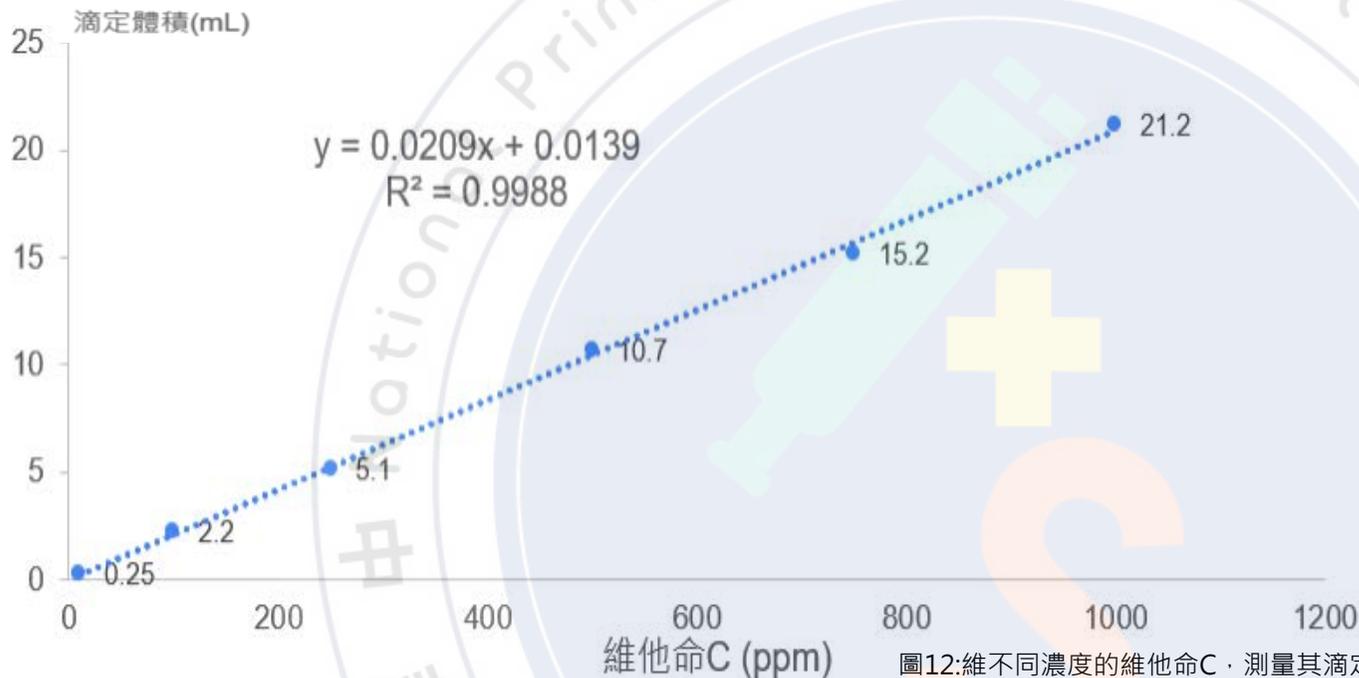


圖12:維他命C不同濃度的維他命C，測量其滴定的碘液

配置不同濃度的維他命C，再測量其滴定的碘液，將結果以excel製作線性回歸直線；再將各物質滴定的碘液體積帶入此公式，可以獲得相對應是多少 ppm 濃度維他命C的抗氧化力。

檢測品項 (皆烘乾後萃取測量)	滴定 0.1N 碘液滴定(mL)	換算相同抗氧化力的 維他命C 濃度(ppm)	排名
綠茶	13.47	643.83	1
石壁小農(1300m)	7.53	359.62	2
樟湖小農(800m)	6.90	329.48	3
阿里山高山茶	6.87	328.04	4
武陵烏龍茶	5.00	238.57	5

圖13:各物質滴定碘液後經由換算

受試者品評流程



沖泡三種乾燥法的咖啡果皮，分別裝入杯子
A(日曬法)、B(乾果機60°C)、C(乾果機70°C)



[圖15]：咖啡果皮茶喜好品評測試

讓受試者在不知道對應乾燥法的情況下，進行品評盲測

評分項目

1. 口感
2. 味道
3. 循環經濟
4. 購買意願

最後填寫相關的表單(問卷)

「口感」部分採用九分制
喜好性品評法

A

B

C

D商品化探討

喜好感官品評試驗，受試者感覺咖啡果皮茶有龍眼香與甘蔗香。

受試者對本實驗採用的「乾果機烘乾法」之喜好程度較高；除了比較沒有日曬法的酸味外，也有較高的抗氧化力。

當受試者知道咖啡果實脫皮後的咖啡果皮可以做成咖啡果皮茶，創造循環經濟，有九成以上的受試者有購買意願

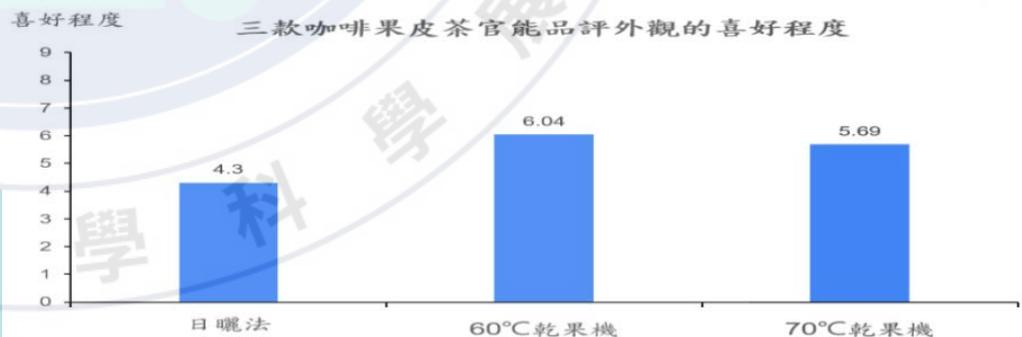
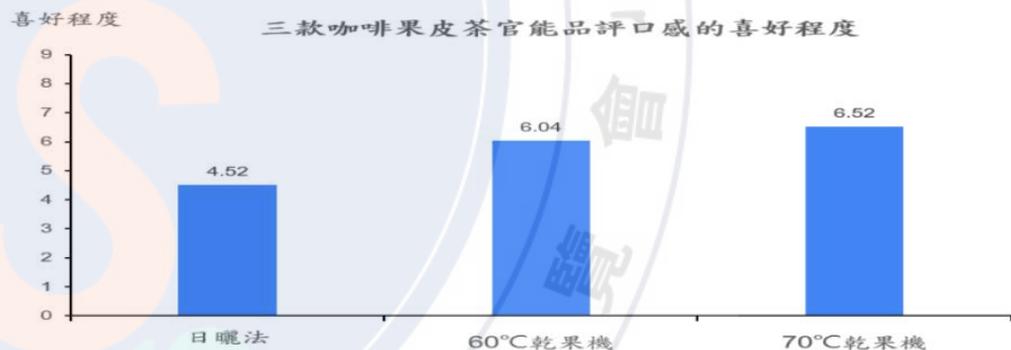
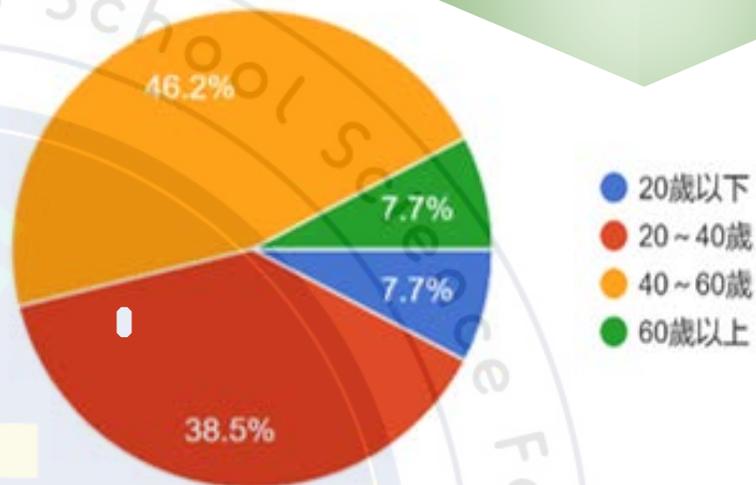


圖14:三款咖啡果皮茶官能品評的喜好程度

結論與未來展望

- 1.我們努力減少農業廢棄物--咖啡果皮，並將其**發揮經濟價值再利用**。
- 2.提供農民方便**快速好保存的方法**，可保有咖啡果皮優良的**抗氧化能力**。
- 3.抗氧化力相當優異，比一般常見水果乾好，相當於茶類的烏龍茶。
- 4.加強產品的宣傳效果，來提**升消費者的購買意願**。
- 5.將實驗方法與成果分享給當地咖啡業者，期盼更多業者參與，促進循環經濟

參考文獻

1. Wang Y B,Kuang Y,Li G M,et al.(2020). Extractioin and Antioxidant Activity of Polyphenols from Coffee Bean Peels [J]. Fujian Journal of Agricultural Scidnces, 35(6) : 682-690.
2. ZHANG Y H, FU X P, LIANG W J, et al. (2016). Antioxidant activity and compsoition of anthocyanins of crude extracts from Yunnan Arabica coffee husk [J]. Food Science and Technology, 41 (5) : 219-223. (in Chinese).
3. 黃閔渝、林欣理、陳冠樺(2012)，大家來找「茶」-茶抗氧化力之探討。中華民國第52屆中小學科學展覽會優勝作品。
4. 農廢物變黃金 暨大竟用咖啡果皮研發蔗香果茶(2021)。聯合報。民110年4月4日，取自：
<https://udn.com/news/story/6928/5365333>