

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

080202

「光」見果汁，真假立見

～果汁吸光度與化學成分關係之探討

學校名稱：新北市永和區秀朗國民小學

作者：	指導老師：
小六 黃炳君	朱中梧
小六 蔡羽涵	林雨墨
小六 王歆瑤	
小六 林茂暉	
小六 林偉宸	

關鍵詞：光譜儀、果汁濃度、吸光度

摘要

本研究的目的是要透過天然果汁和食用化學果汁之透射強度及光譜吸光度圖的實驗結果，建置一個小型數據資料庫，讓大眾能透過自製簡易光譜儀，檢測對照蘋果汁和檸檬汁是否含有化學成分。根據實測結果發現，天然果汁濃度愈高，吸光度亦愈高；而天然果汁內加入的化學成分比例愈高，則吸光度反而愈低；且可明顯看出，完全無天然果汁的化學果汁，其吸光度呈現出一條沒有波峰且吸光度僅維持在 0.4 以下的近似水平線。

壹、研究動機

有一次喝著買來的手搖杯果汁時，突然覺得那麼大一杯的果汁，如果自己打，會需要用到大量的水果，為什麼飲料店還可以賣這麼便宜呢？剛好上課時，老師曾提及利用光譜亦可看出物質的內含差異，甚至可看出物質不同的內含化學成分。因此，我們也想嘗試製作成本低、操作簡易的光譜儀，比較天然果汁與化學果汁吸光度的差異，甚至進一步想利用自然課學過溶液濃度調配的方法，製作不同濃度比例的果汁，並將結果製作一個小型數據資料庫，希望讓一般人也能使用簡易的光譜儀，對照數據，檢驗自己的果汁是否真的純天然。

貳、研究目的

- 一、了解光譜產生、光譜儀及吸光度的原理。
- 二、學習製作光譜儀及光譜波長吸光度圖。
- 三、比較不同水果與不同濃度的光譜改變。
- 四、探討化學和天然果汁如何以吸光度分辨。
- 五、建立果汁的波長及吸光度小型數據資料庫。

參、文獻探討

光譜：複色光通過色散系統（光柵、稜鏡等）進行分光後，依照光的波長的大小順序排列便會形成光譜。光譜中的一部分，可見光譜(大約 380-780nm)是人眼唯一可見的電磁波譜，其餘都是肉眼無法分辨的光譜，如紅外線、微波、紫外線等等。

光譜儀：將複色光，分解為光譜的科學儀器，由色散系統、攝像頭等構成。利用光譜儀可測量物體表面反射的光線，並以電腦化自動顯示數值儀器顯示和分析，從而測知物品中含有何種元素。光譜儀是應用光學原理，對物質的結構和成分進行觀測、分析和處理的基本設備，具有分析精度高、測量範圍大、速度快和樣品用量少等優點。

光譜分析：由於每種元素都有自己的光譜，因此可根據光譜來鑑別物質和確定其化學組成，這種方法被稱作光譜分析。因為不同元素的光譜會有不同的位置的顏色的譜線，或者會缺少某些譜線，但含有相同元素的物質的譜線卻總是會在同一個位置具有相同顏色的譜線。光譜分析就是利用這個原理來分析物質的元素組成的。

色散系統：複色光中有著各種波長的光，這些光在不同物質中有著不同的**折射率**。當複色光通過特定幾何外形的介質（光柵、稜鏡等）之後，波長不同的光線會因出射角的不同而發生色散現象，投映出連續或不連續的光譜。

波長：是一個物理學的名詞，指在某一固定的頻率裡，沿著波的傳播方向、在波的圖形中，離平衡位置的「位移」與「時間」皆相同的兩個質點之間的最短距離。在物理學，波長普遍使用希臘字母「 λ 」來表示。

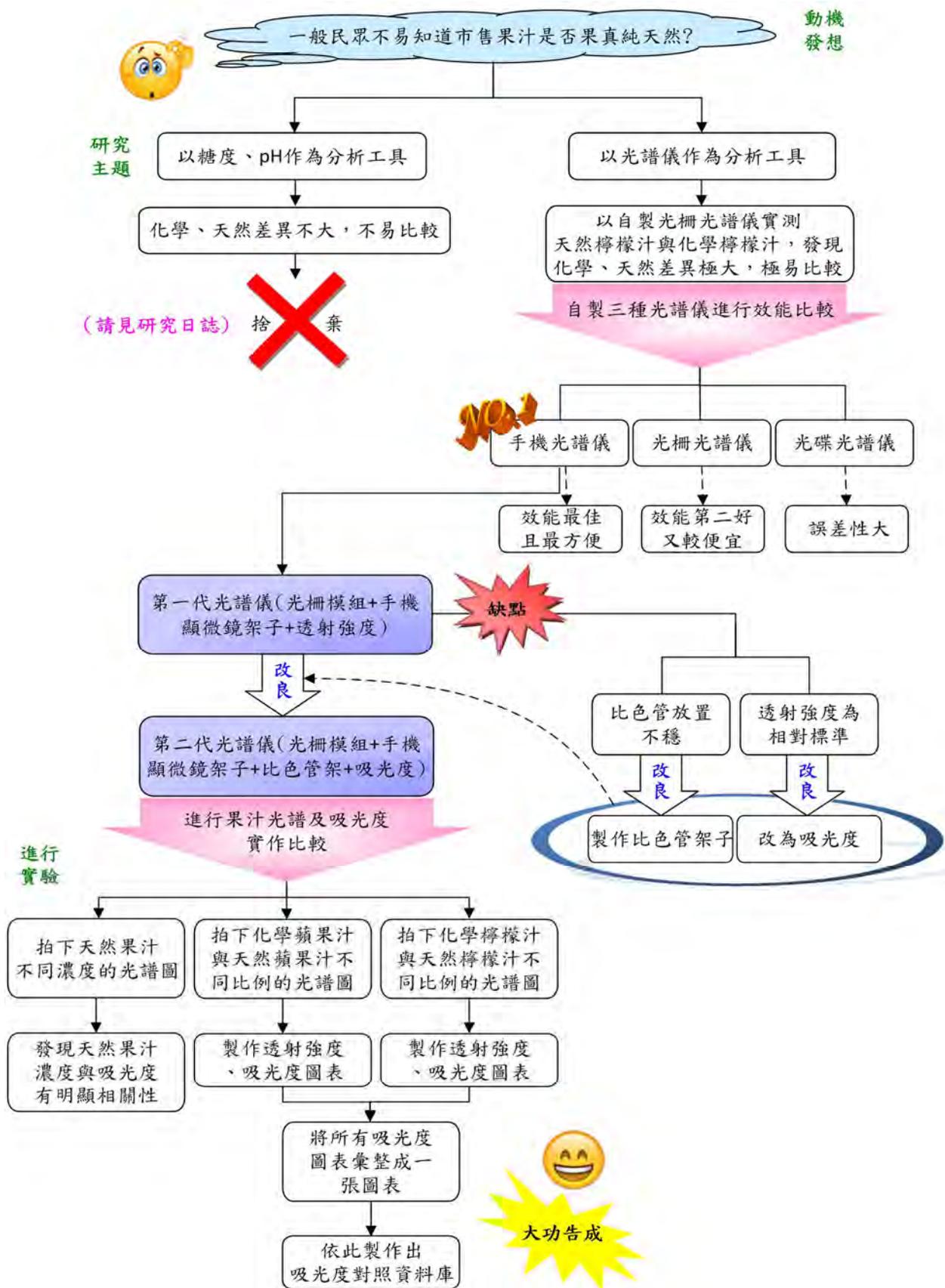
吸光度：當大部分光經過一個樣本時，部分光會被吸收。透光率 T 是透射光和入射光的光強比： $T = I_1/I_0$ ，其中， I_0 是入射光光強， I_1 是透射光光強。**吸光度** A_λ 的定義： $A_\lambda = \log_{10}(I_0/I_1) = -\log_{10}(T)$ 。對於**不同波長的光，樣本的吸光度未必一樣**。對於較稀的溶液，吸光度和濃度成正比，兩者關係可用比爾-朗伯定律說明： $\alpha * l * c$ 其中， l 是光在樣本中經過的距離， c 是濃度， α 是吸收係數，是材質的性質。

連續光譜：連續光譜是一種具有寬帶寬的光源，一般利用高功率的超短脈衝通過非線性材料來產生，例如利用飛秒雷射脈衝通過光子晶體光纖，可以獲得覆蓋整個可見光波段的連續光譜。

不連續光譜：放電管中填充低壓的氣體，則放出的光通過三稜鏡後，會得到數條明線組成的光譜，每一條明線皆對應於單一波長的光，所以形成的光譜是不連續的。

光柵：是一種非常重要的光學元件。廣義的光柵定義為：可以使入射光的振幅或相位（或兩者同時）受到週期性空間調製的光學元件。

肆、研究架構與流程



伍、實驗器材設備



實驗器材與材料：

自製暗箱、光柵光譜儀、手機光譜儀、光碟光譜儀、燈泡座、21W 省電燈泡、60W 鎢絲燈泡、手機、手機架、比色管、比色槽、紅色玻璃紙、藍色玻璃紙、綠色玻璃紙、燒杯、標籤紙、pH 筆、糖度計、滴管、針筒、手機遙控器、離心管、離心機、食用級化學濃縮蘋果汁、食用級化學濃縮檸檬汁、黑布、天然果汁。

陸、實驗過程與方法

問題一：檢測吸收光譜之基本標準程序

一、討論：在進行所有實驗之前，應將所有標準作業程序的過程討論固定。因此，我們閱讀討論了許多相關文獻，並請教相關專業老師，擬定了檢測吸收光譜之基本流程。

(一) 果汁製作：

- 1.先將水果切成兩半，再用榨汁器榨汁，並把榨好的果汁(泥)倒在紗布中，再將果汁擠出。
- 2.將已過濾的果汁倒進離心管，放進離心機中(離心管要放置對稱，離心機才會平穩)，每種果汁，**固定離心 3 分鐘**。
- 3.離心完成後，將離心管拿出(小心**不要搖晃到**)，並且**用針管抽出中層的液態果汁(避免吸到上層的氣泡及下層的沉澱物質)**。
- 4.將果汁輕輕注入比色管(避免產生氣泡)，準備進行光譜拍照。

(二)檢測過程：

- 1.將光譜儀放入暗箱，再將省電燈泡栓進**自組燈泡底座**開啟。(使用光柵光譜儀時需拆除狹縫，因機身已有)，手機放於手機架對準光譜，放入裝蒸餾水的比色管後，關上暗箱(若無法對準，可調整光譜儀和燈泡)。
- 2.用藍牙相機遙控器和手機連線，拍三張照片。
- 3.更換成實驗組比色管後，重複 1.、2.步驟直到同一實驗全部完成。

4.關掉燈泡，將比色管及手機拿出，並將手機裡的光譜照片輸入電腦。

(三)分析過程：

1.製作光譜波長透射強度圖

- ①將照片編名後，用 ImageJ 開啟，將照片存成一個圖組-Stack，並將有光譜的區域選取複製。
- ②將照片旋轉至藍色朝左，且呈水平狀，並使用省電燈泡光譜照片校準，繪製波長圖-Plot Profile。
- ③開啟曲線擬合-Curve Fitting，找出波長圖和省電燈泡標準波長圖中，紫色和綠色波長中最高峰的 X 軸數值，將其鍵入 Curve Fitting 頁面，再按下擬合-Fit。
- ④複製所有光譜的波長圖數據，開啟 E-xcel 將數據貼上，在旁邊輸入公式，輸出的數值貼在新的一欄，再將蘋果汁和水的波長圖 Y 軸數值貼上。
- ⑤公式輸出的數值做為 Y 軸，測試品的波長圖 X 軸數值當作 X 軸，製作 X Y 散佈圖。

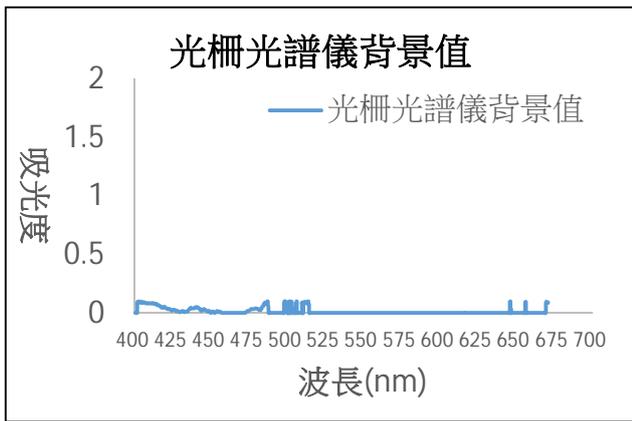
2.製作光譜吸光度圖

- ①將光譜波長透射強度圖的數據全數貼上另一活頁簿。並鍵入公式： $=IF(實驗品儲存格「C2」=0, \log_{10}(鎢絲燈泡儲存格「B2」/(C2+1)), \log_{10}(B2/C2))+ABS(數據產出後的最小值)$
- ②公式輸出的數值做為 Y 軸，測試品的波長圖 X 軸數值當作 X 軸，製作 X Y 散佈圖。

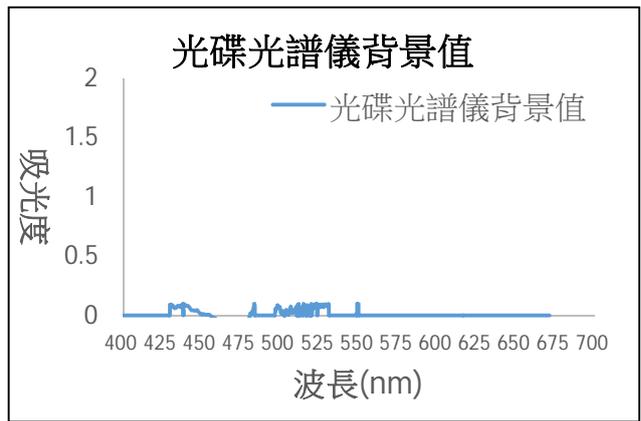
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波長</th> <th>透射強度</th> <th>標準</th> <th>波長</th> <th>透射強度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>393.914</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>393.914</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>395.077</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>395.077</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>396.241</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>396.241</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>397.404</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>397.404</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>398.567</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>398.567</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>399.731</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>399.731</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>400.894</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>400.894</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>402.057</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>402.057</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>403.221</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>403.221</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>404.384</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>404.384</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>405.547</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>405.547</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>406.711</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>406.711</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>407.874</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>407.874</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>409.037</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>409.037</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>410.201</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>410.201</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>411.364</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>411.364</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>412.527</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>412.527</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>413.691</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>413.691</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>414.854</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>414.854</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>416.017</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>416.017</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>417.181</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>417.181</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>418.344</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>418.344</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>419.507</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>419.507</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>420.671</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>420.671</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>421.834</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>421.834</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>422.997</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>422.997</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>424.161</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>424.161</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>425.324</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>425.324</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>426.487</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>426.487</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>427.651</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>427.651</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>428.814</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>428.814</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>430.0</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>430.0</td><td>1.125</td></tr> </tbody> </table>	波長	透射強度	標準	波長	透射強度	393.914	1.125	0.97	393.914	1.125	395.077	1.125	0.97	395.077	1.125	396.241	1.125	0.97	396.241	1.125	397.404	1.125	0.97	397.404	1.125	398.567	1.125	0.97	398.567	1.125	399.731	1.125	0.97	399.731	1.125	400.894	1.125	0.97	400.894	1.125	402.057	1.125	0.97	402.057	1.125	403.221	1.125	0.97	403.221	1.125	404.384	1.125	0.97	404.384	1.125	405.547	1.125	0.97	405.547	1.125	406.711	1.125	0.97	406.711	1.125	407.874	1.125	0.97	407.874	1.125	409.037	1.125	0.97	409.037	1.125	410.201	1.125	0.97	410.201	1.125	411.364	1.125	0.97	411.364	1.125	412.527	1.125	0.97	412.527	1.125	413.691	1.125	0.97	413.691	1.125	414.854	1.125	0.97	414.854	1.125	416.017	1.125	0.97	416.017	1.125	417.181	1.125	0.97	417.181	1.125	418.344	1.125	0.97	418.344	1.125	419.507	1.125	0.97	419.507	1.125	420.671	1.125	0.97	420.671	1.125	421.834	1.125	0.97	421.834	1.125	422.997	1.125	0.97	422.997	1.125	424.161	1.125	0.97	424.161	1.125	425.324	1.125	0.97	425.324	1.125	426.487	1.125	0.97	426.487	1.125	427.651	1.125	0.97	427.651	1.125	428.814	1.125	0.97	428.814	1.125	430.0	1.125	0.97	430.0	1.125	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波長</th> <th>透射強度</th> <th>標準</th> <th>波長</th> <th>透射強度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>395.7924</td><td>1.125</td><td>0.75</td><td>395.7924</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>396.9557</td><td>1.125</td><td>0.954</td><td>396.9557</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>398.1191</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>398.1191</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>399.2824</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>399.2824</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>400.4458</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>400.4458</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>401.6091</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>401.6091</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>402.7724</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>402.7724</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>403.9358</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>403.9358</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>405.0991</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>405.0991</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>406.2624</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>406.2624</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>407.4258</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>407.4258</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>408.5891</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>408.5891</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>409.7524</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>409.7524</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>410.9158</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>410.9158</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>412.0791</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>412.0791</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>413.2424</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>413.2424</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>414.4058</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>414.4058</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>415.5691</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>415.5691</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>416.7324</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>416.7324</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>417.8958</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>417.8958</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>419.0591</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>419.0591</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>420.2224</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>420.2224</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>421.3858</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>421.3858</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>422.5491</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>422.5491</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>423.7124</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>423.7124</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>424.8758</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>424.8758</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>426.0391</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>426.0391</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>427.2024</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>427.2024</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>428.3658</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>428.3658</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>429.5291</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>429.5291</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>430.6924</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>430.6924</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>431.8558</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>431.8558</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>433.0191</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>433.0191</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>434.1824</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>434.1824</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>435.3458</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>435.3458</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>436.5091</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>436.5091</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>437.6724</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>437.6724</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>438.8358</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>438.8358</td><td>1.125</td></tr> <tr><td>440.0</td><td>1.125</td><td>0.97</td><td>440.0</td><td>1.125</td></tr> </tbody> </table>	波長	透射強度	標準	波長	透射強度	395.7924	1.125	0.75	395.7924	1.125	396.9557	1.125	0.954	396.9557	1.125	398.1191	1.125	0.97	398.1191	1.125	399.2824	1.125	0.97	399.2824	1.125	400.4458	1.125	0.97	400.4458	1.125	401.6091	1.125	0.97	401.6091	1.125	402.7724	1.125	0.97	402.7724	1.125	403.9358	1.125	0.97	403.9358	1.125	405.0991	1.125	0.97	405.0991	1.125	406.2624	1.125	0.97	406.2624	1.125	407.4258	1.125	0.97	407.4258	1.125	408.5891	1.125	0.97	408.5891	1.125	409.7524	1.125	0.97	409.7524	1.125	410.9158	1.125	0.97	410.9158	1.125	412.0791	1.125	0.97	412.0791	1.125	413.2424	1.125	0.97	413.2424	1.125	414.4058	1.125	0.97	414.4058	1.125	415.5691	1.125	0.97	415.5691	1.125	416.7324	1.125	0.97	416.7324	1.125	417.8958	1.125	0.97	417.8958	1.125	419.0591	1.125	0.97	419.0591	1.125	420.2224	1.125	0.97	420.2224	1.125	421.3858	1.125	0.97	421.3858	1.125	422.5491	1.125	0.97	422.5491	1.125	423.7124	1.125	0.97	423.7124	1.125	424.8758	1.125	0.97	424.8758	1.125	426.0391	1.125	0.97	426.0391	1.125	427.2024	1.125	0.97	427.2024	1.125	428.3658	1.125	0.97	428.3658	1.125	429.5291	1.125	0.97	429.5291	1.125	430.6924	1.125	0.97	430.6924	1.125	431.8558	1.125	0.97	431.8558	1.125	433.0191	1.125	0.97	433.0191	1.125	434.1824	1.125	0.97	434.1824	1.125	435.3458	1.125	0.97	435.3458	1.125	436.5091	1.125	0.97	436.5091	1.125	437.6724	1.125	0.97	437.6724	1.125	438.8358	1.125	0.97	438.8358	1.125	440.0	1.125	0.97	440.0	1.125
波長	透射強度	標準	波長	透射強度																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
393.914	1.125	0.97	393.914	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
395.077	1.125	0.97	395.077	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
396.241	1.125	0.97	396.241	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
397.404	1.125	0.97	397.404	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
398.567	1.125	0.97	398.567	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
399.731	1.125	0.97	399.731	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
400.894	1.125	0.97	400.894	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
402.057	1.125	0.97	402.057	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
403.221	1.125	0.97	403.221	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
404.384	1.125	0.97	404.384	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
405.547	1.125	0.97	405.547	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
406.711	1.125	0.97	406.711	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
407.874	1.125	0.97	407.874	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
409.037	1.125	0.97	409.037	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
410.201	1.125	0.97	410.201	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
411.364	1.125	0.97	411.364	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
412.527	1.125	0.97	412.527	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
413.691	1.125	0.97	413.691	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
414.854	1.125	0.97	414.854	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
416.017	1.125	0.97	416.017	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
417.181	1.125	0.97	417.181	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
418.344	1.125	0.97	418.344	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
419.507	1.125	0.97	419.507	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
420.671	1.125	0.97	420.671	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
421.834	1.125	0.97	421.834	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
422.997	1.125	0.97	422.997	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
424.161	1.125	0.97	424.161	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
425.324	1.125	0.97	425.324	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
426.487	1.125	0.97	426.487	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
427.651	1.125	0.97	427.651	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
428.814	1.125	0.97	428.814	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
430.0	1.125	0.97	430.0	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
波長	透射強度	標準	波長	透射強度																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
395.7924	1.125	0.75	395.7924	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
396.9557	1.125	0.954	396.9557	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
398.1191	1.125	0.97	398.1191	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
399.2824	1.125	0.97	399.2824	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
400.4458	1.125	0.97	400.4458	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
401.6091	1.125	0.97	401.6091	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
402.7724	1.125	0.97	402.7724	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
403.9358	1.125	0.97	403.9358	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
405.0991	1.125	0.97	405.0991	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
406.2624	1.125	0.97	406.2624	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
407.4258	1.125	0.97	407.4258	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
408.5891	1.125	0.97	408.5891	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
409.7524	1.125	0.97	409.7524	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
410.9158	1.125	0.97	410.9158	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
412.0791	1.125	0.97	412.0791	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
413.2424	1.125	0.97	413.2424	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
414.4058	1.125	0.97	414.4058	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
415.5691	1.125	0.97	415.5691	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
416.7324	1.125	0.97	416.7324	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
417.8958	1.125	0.97	417.8958	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
419.0591	1.125	0.97	419.0591	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
420.2224	1.125	0.97	420.2224	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
421.3858	1.125	0.97	421.3858	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
422.5491	1.125	0.97	422.5491	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
423.7124	1.125	0.97	423.7124	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
424.8758	1.125	0.97	424.8758	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
426.0391	1.125	0.97	426.0391	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
427.2024	1.125	0.97	427.2024	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
428.3658	1.125	0.97	428.3658	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
429.5291	1.125	0.97	429.5291	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
430.6924	1.125	0.97	430.6924	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
431.8558	1.125	0.97	431.8558	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
433.0191	1.125	0.97	433.0191	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
434.1824	1.125	0.97	434.1824	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
435.3458	1.125	0.97	435.3458	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
436.5091	1.125	0.97	436.5091	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
437.6724	1.125	0.97	437.6724	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
438.8358	1.125	0.97	438.8358	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
440.0	1.125	0.97	440.0	1.125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Curve Fitting	波長圖運算	吸光度圖運算																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

3. 製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較圖(因擔心背景值的干擾，故而進行此實驗比較)

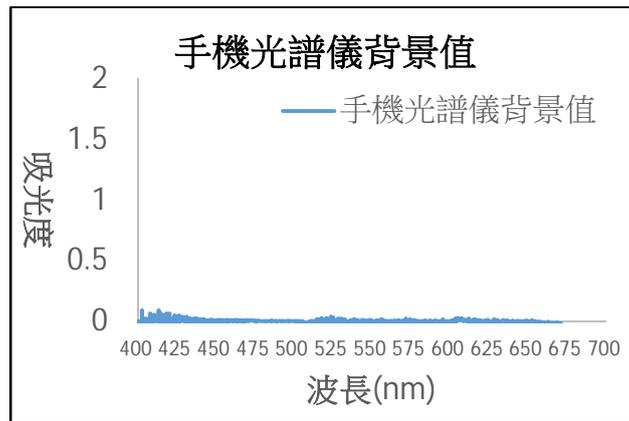
- ①以鎢絲燈泡為光源拍攝蒸餾水的光譜圖，並計算其吸光度，其吸光度便是背景值。
- ②同次實驗的樣品製作出的吸光度圖中，所有波長的吸光度皆扣除相同波長的背景值。
- ③由實際實測結果(圖一-1~圖一-3)可看出，背景值很低，因此可忽略不用另計算背景值。



圖一-1 光柵光譜儀背景值圖

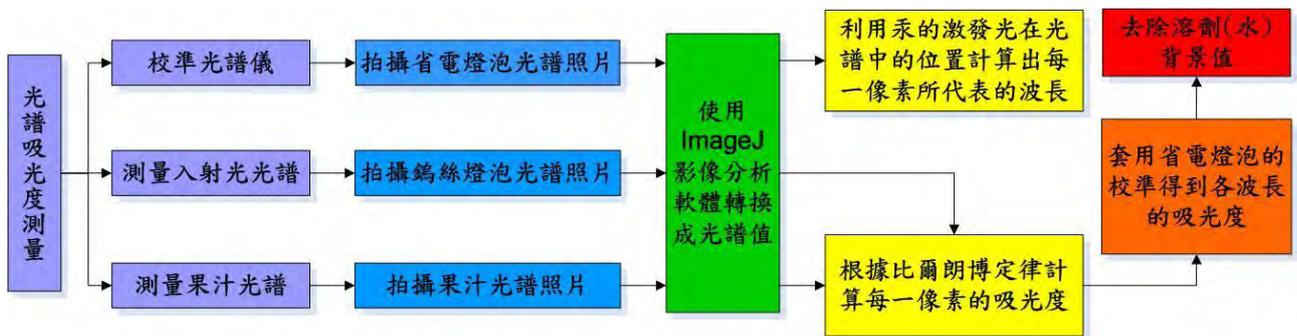


圖一-2 光碟光譜儀背景值圖



圖一-3 手機光譜儀背景值圖

4. 光譜吸光度測量操作步驟彙整圖



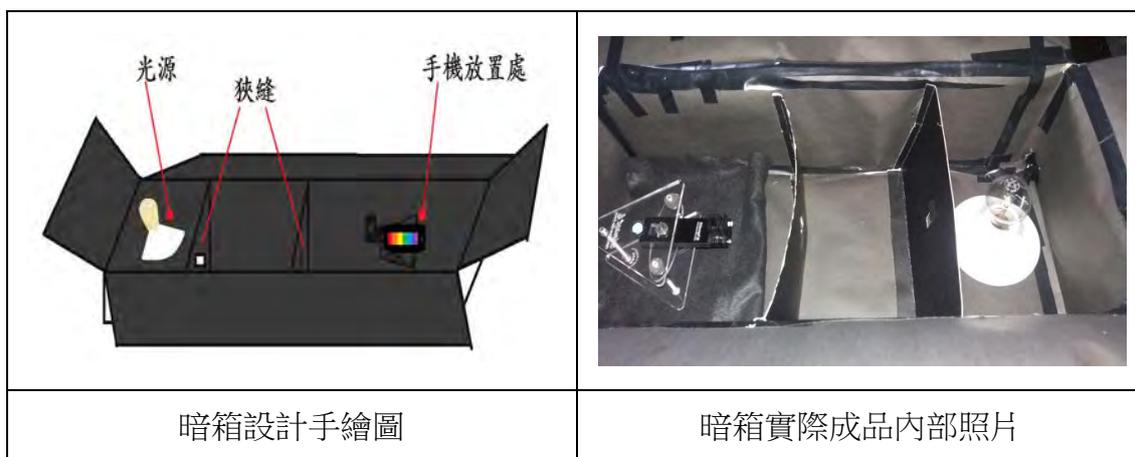
問題二：三種簡易光譜儀之製作

一、光柵光譜儀之製作

(一) 討論：為了使天然果汁及添加化學劑的果汁能客觀的比較，因此我們決定自製光譜儀，希望是便宜也能自製，且能比較兩種果汁的內含物質差異。

(二) 前置作業 - 製作暗箱

- 1.將兩個紙箱裁切好後，用黑色膠帶黏在一起，並用黑色膠帶補強外圍會漏光的部分。
- 2.將黑色壁報紙裁切成符合紙箱內部的形狀，再用黑色膠帶與紙箱黏在一起。
- 3.用美工刀在暗箱的角落割出一個約 3.5*3.5 平方公分的小洞。
- 4.將兩片黑色卡紙割成適合暗箱的寬和高，並在兩個平行的角落割 1*2 平方公分的洞，將兩片黑色卡紙放至暗箱中央，且相隔約 8 公分，並用黑色膠帶固定於暗箱中，當作狹縫。
- 5.對準鎢絲燈泡後，在兩黑色卡紙平行燈泡的地方，割一個 4*2 平方公分的洞，暗箱完成。



(三)操作步驟：

1.第一代光柵光譜儀製作

- ①先在黑色壁報紙上，用鉛筆描出光譜儀的形狀(標出外部狹縫的位置)，並割下。
 - ②戴塑膠手套割一塊長 1.5 公分寬 3 公分的光柵片用酒精棉擦拭，並黏在光譜儀觀測處。
 - ③將兩個內部狹縫黏在光譜儀內部(需互相平行)，黏好光譜儀主體固定於塑膠架上，加上黏土避免搖晃，最後把燈泡裝在自組燈座上。
 - ④將手機對準光柵，再以厚紙及黏土固定手機，然後將漏斗對準光柵，再用膠帶黏上。
- ◎檢討：改良後的光譜儀，由於是紙卡做的，有點不穩，待改進。

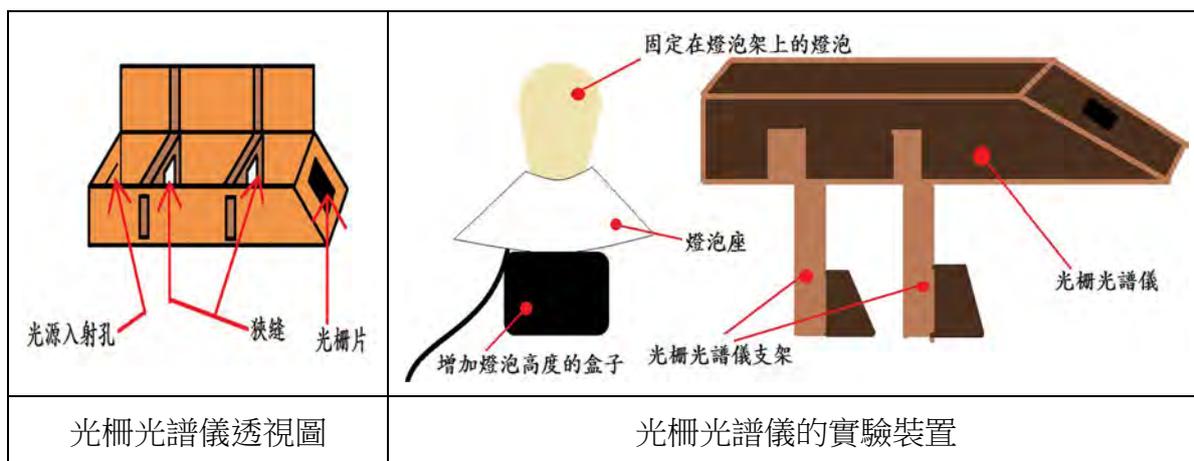
2. 第二代光柵光譜儀製作

※和老師討論的結果，我們決定用木板來製作光柵光譜儀。

- ①將木板用雷射切割器切出光譜儀、手機架以及光譜儀架子的零件，並用熱熔膠組裝。
- ②戴塑膠手套切下一塊長 1.5 公分寬 3 公分的光柵用酒精棉擦拭，並黏在光譜儀觀測處。

③將外部狹縫及觀測處黏上光譜儀主體，完成後將光譜儀放入暗箱內固定。

◎檢討：本次改良後進行測試，已確認此自製光柵光譜儀無問題！

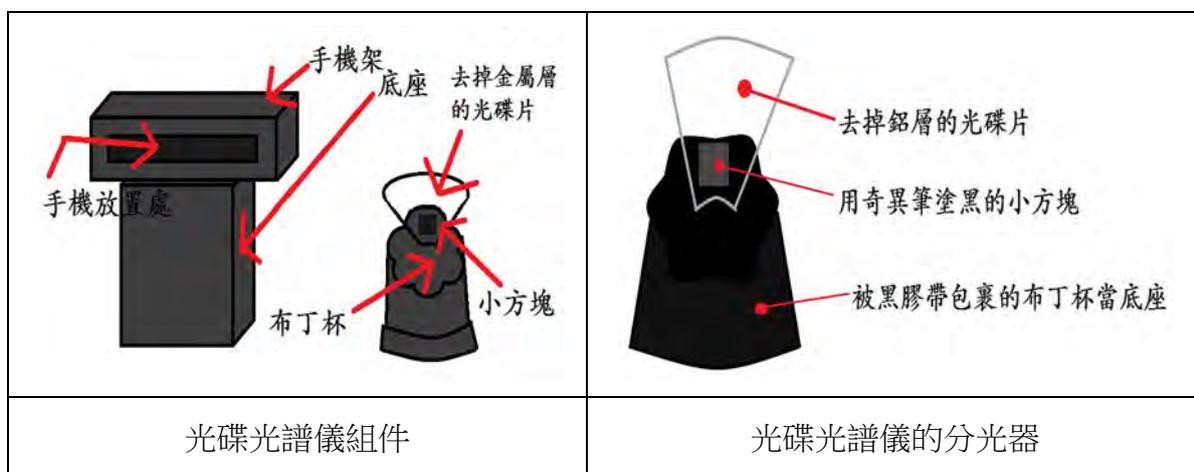


二、光碟光譜儀之製作

(一) 討論：網路上有很多使用光碟製作光譜儀的訊息，因此，我們決定也自製光碟光譜儀試
試看。

(二) 操作步驟：

- 1.戴上手套，用鑷子將 1/5 的光碟片透明的一面分出。
- 2.再用沾過酒精的棉花擦掉光碟片的鋁層。
- 3.將一塊 1*1*1 立方公分積木塗黑，並黏在用黑色膠帶圍住並倒蓋的布丁杯底部。
- 4.將光碟片以 45° 黏在布丁杯上，再用黏土輔助，最後將光譜儀放入暗箱內。
- 5.將黑色膠帶黏在狹縫兩側，在狹縫上留下約 0.5~1 公分的細縫，並將狹縫加長 0.5 公分。



◎檢討：經幾次改良修正後進行測試，已確認此自製光碟光譜儀無問題！

三、手機光譜儀之製作

(一) 討論：老師是科學 Maker 社團的團員，社團中有手機光譜儀的製作及推廣，在和老師討論後，我們決定使用推廣的**手機光譜儀**也來試試看。

(二) 操作步驟：

- 1.將手機光譜儀鎖上分光光度計模組，鎖上放置比色管的裝置，再用黑膠帶加強。
- 2.把手機光譜儀的柱子用螺絲鎖在底座，並將螺絲帽栓在柱子上。
- 3.將手機光譜儀的載玻片套在柱子上，再將手機乘載架蓋上。
- 4.把手機光譜儀夾在載玻片和手機乘載架之間，並放入暗箱內。

◎檢討：組裝後，經過測試，已確認此手機光譜儀無問題！



問題三：不同光譜儀類型對光譜的影響之比較

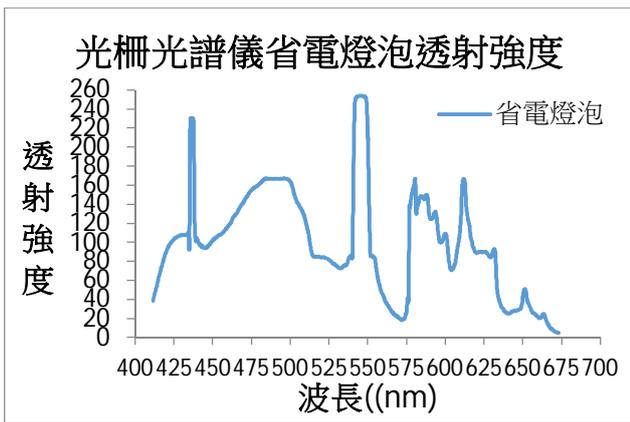
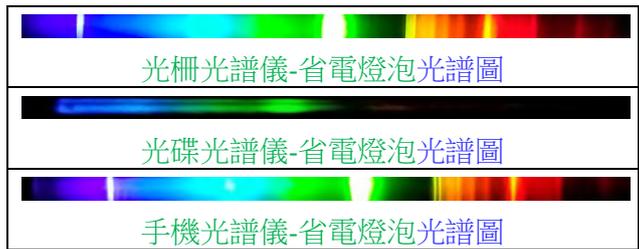
(一) 討論：為了比較三種光譜儀的**準確及可用性**，我們決定用**光柵光譜儀**、**光碟光譜儀**、**手機光譜儀**三種光譜儀拍蘋果汁和蒸餾水的**光譜**，比較觀察**不同光譜儀類型對光譜之影響**。

(二) 實驗步驟：

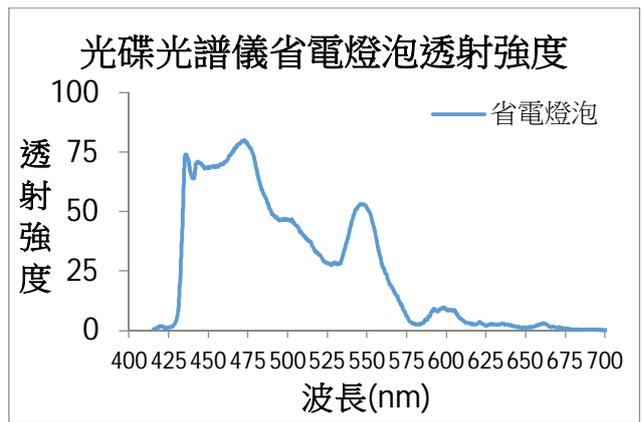
- 1.將已進行完果汁製作前置作業的蘋果汁用三種光譜儀進行光譜拍照。
- 2.完成檢測後，將拍出的光譜照片，用 ImageJ 製作透射強度、吸光度比較圖，進行光譜和吸光度的分析。



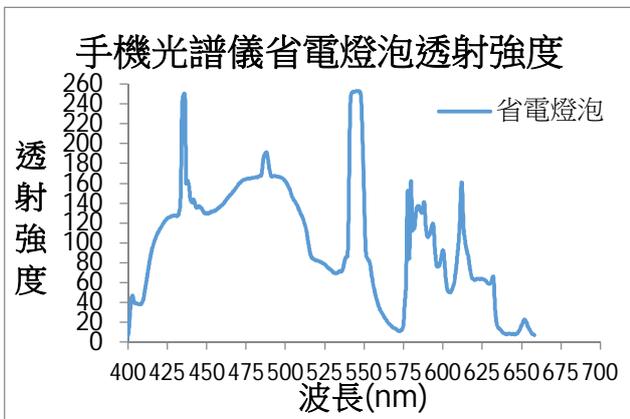
(三) 實驗結果：



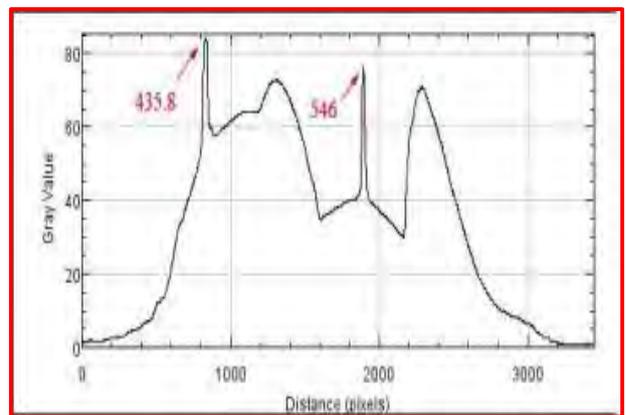
圖三-1 光柵光譜儀透射強度圖



圖三-2 光碟光譜儀的透射強度圖



圖三-3 手機光譜儀透射強度圖



圖三-4 省電燈泡標準光譜儀透射強度圖

(四)結果討論：

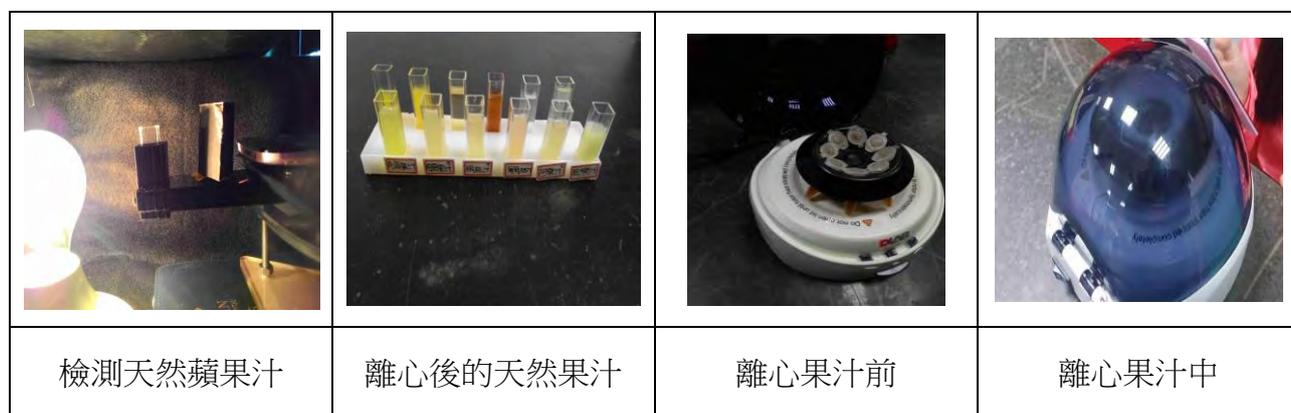
- 1.根據光譜的透射強度圖，手機光譜儀所拍出的省電燈泡光譜圖，最接近標準光譜儀的透射強度圖；光柵光譜儀也很接近，僅有些微的差異。
- 2.較意外的是，經過幾次的測試比較，光碟光譜儀檢測出的透射強度圖，結果似乎均較不理想，且與光柵光譜儀及手機光譜儀的檢測結果有較大的差異。
- 3.根據製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較結果(p6)及三種光譜儀對省電燈泡標準光譜儀的對照比較，我們發現：手機光譜儀在二項評比的效果皆最佳，光柵光譜儀其次，光碟光譜儀的誤差頗明顯。因此，後續所要進行的檢測，本研究將以手機光譜儀做為光譜檢測的工具，並且期望將分析檢測後的數據製作一小型數據資料庫。

問題四：不同濃度天然果汁的光譜比較

(一)討論：為了要知道商家在果汁裡調配的果汁原汁比例約為多少，好讓我們得知這杯果汁純度的高低，因此我們決定先選擇商家常販售的水果汁進行比較。

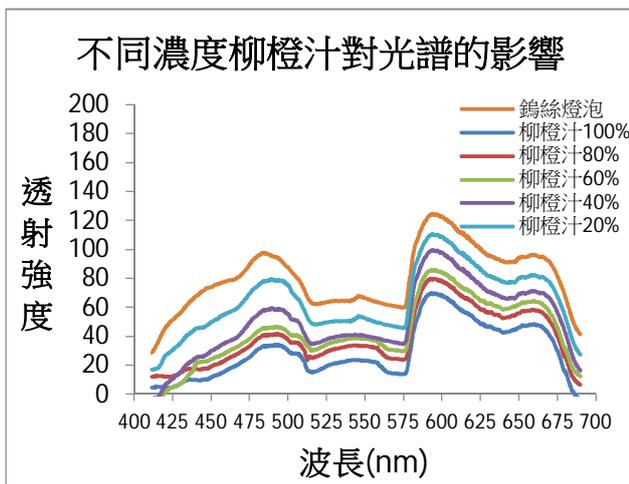
(二)實驗步驟：

1. 榨出柳橙、檸檬、蘋果、楊桃、葡萄柚汁等五種果汁。
2. 將純果汁離心 3 分鐘備用。
3. 按照濃度比例調配出 20%、40%、60%、80%、100%的柳橙、檸檬、蘋果、楊桃、葡萄柚汁，並裝入比色管中。
4. 拍攝光譜圖，並將拍出的光譜照片，用 ImageJ 製作透射強度、吸光度比較圖，進行光譜及吸光度的分析。

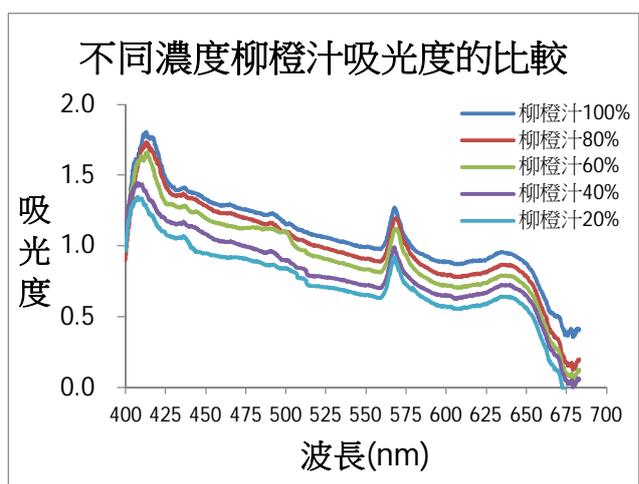


(三) 實驗結果：

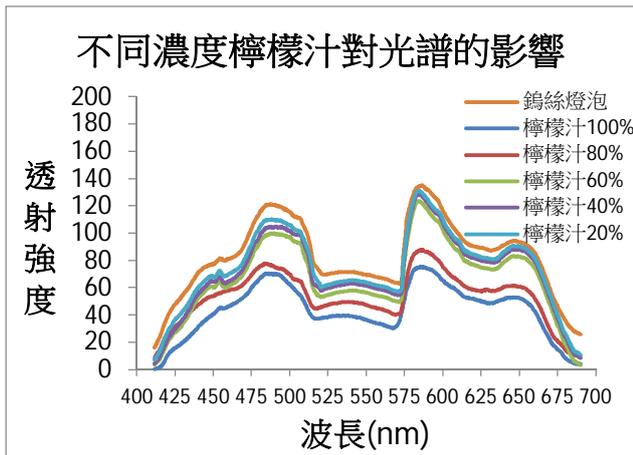
蒸餾水光譜圖	柳橙汁 20%光譜圖
柳橙汁 40%光譜圖	柳橙汁 60%光譜圖
柳橙汁 80%光譜圖	柳橙汁 100%光譜圖
檸檬汁 20%光譜圖	檸檬汁 40%光譜圖
檸檬汁 60%光譜圖	檸檬汁 80%光譜圖
檸檬汁 100%光譜圖	蘋果汁 20%光譜圖
蘋果汁 40%光譜圖	蘋果汁 60%光譜圖
蘋果汁 80%光譜圖	蘋果汁 100%光譜圖
楊桃汁 20%光譜圖	楊桃汁 40%光譜圖
楊桃汁 60%光譜圖	楊桃汁 80%光譜圖
楊桃汁 100%光譜圖	葡萄柚汁 20%光譜圖
葡萄柚汁 40%光譜圖	葡萄柚汁 60%光譜圖
葡萄柚汁 80%光譜圖	葡萄柚汁 100%光譜圖



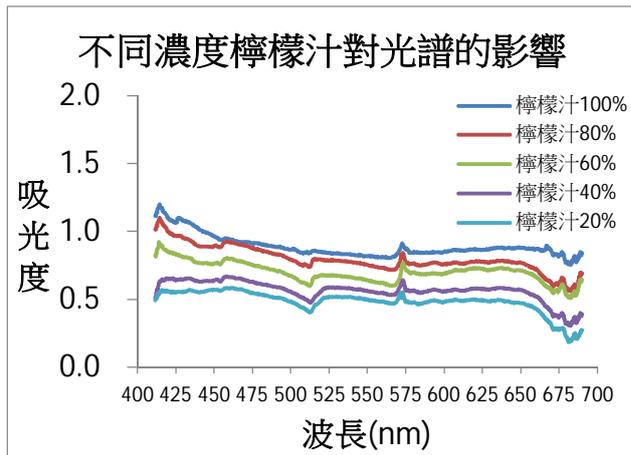
圖四-1 不同濃度柳橙汁對光譜的影響



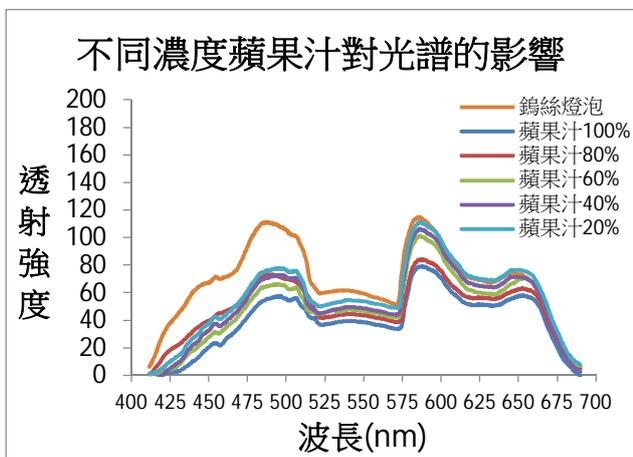
圖四-2 不同濃度柳橙汁吸光度的比較



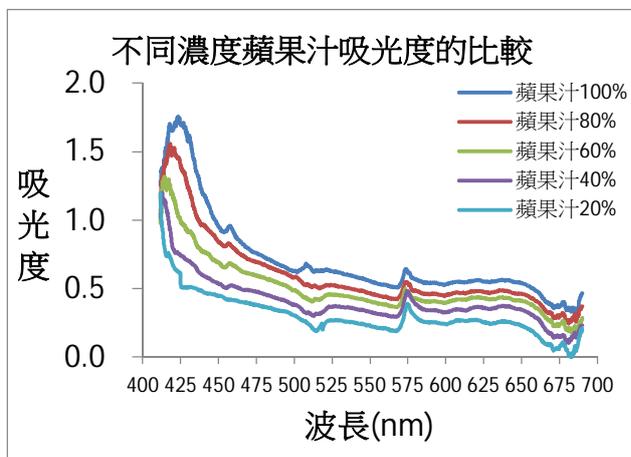
圖四-3 不同濃度檸檬汁對光譜的影響



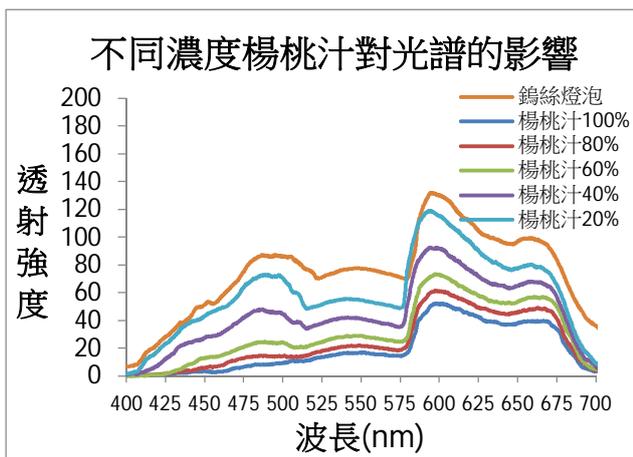
圖四-4 不同濃度檸檬汁吸光度的比較



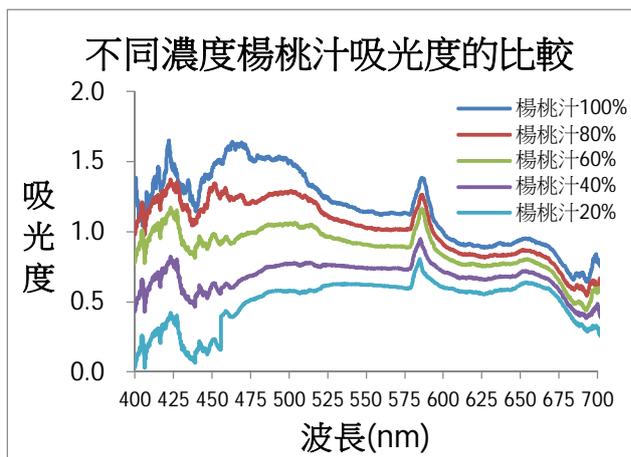
圖四-5 不同濃度蘋果汁對光譜的影響



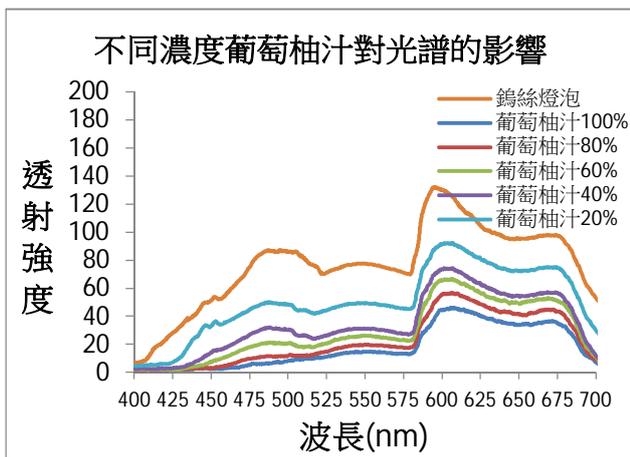
圖四-6 不同濃度蘋果汁吸光度的比較



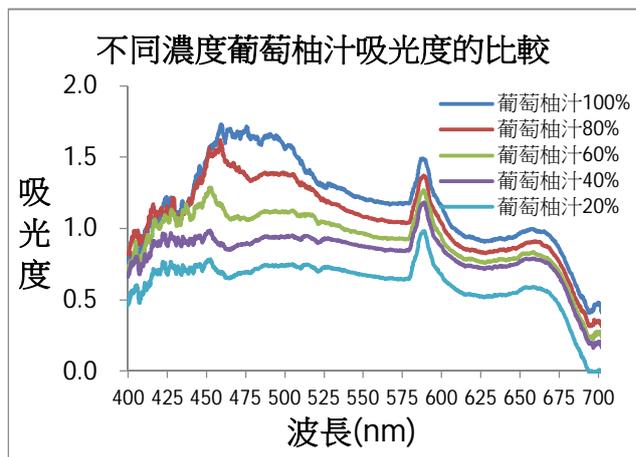
圖四-7 不同濃度蘋果汁對光譜的影響



圖四-8 不同濃度楊桃汁吸光度的比較



圖四-9 不同濃度葡萄柚汁對光譜的影響



圖四-10 不同濃度葡萄柚汁吸光度的比較

(四) 結果討論：

1. 由於透射強度是相對單位，在不同手機、環境，或是不同品牌燈泡下，都會有不同結果，因此我們進一步使用吸光度，可做為絕對單位的比較分析，以避免不同實驗設定的差異。
2. 所有不同濃度果汁的透射強度皆在波長 400nm 開始上升，並在波長 475-515nm 之間有一平穩的小高台，接著便開始下降；在 525-575nm 之間呈現較平穩波狀。在 575nm~600nm 左右，透射強度均突然上升許多，之後在 625-675nm 左右呈現平穩狀，有些微起伏，在 675nm 後，幾乎便下降到最低點。
3. 在吸光度的部分，根據可見光波長的分布我們發現，柳橙汁的濃度越高，吸收的紅光越多，而吸收的綠、藍光越少；檸檬汁的濃度越高，吸收的光越少；蘋果汁的濃度越高，吸收的紅光越多，而吸收的綠、藍光越少；楊桃汁的濃度越高，吸收的光越多；葡萄柚汁的濃度越高，吸收的光亦越多。
4. 從所有果汁的吸光度圖皆能看到，果汁的濃度越高，吸光度則越高；而透射強度圖則相反，果汁的濃度越高，透射強度反而越低。且各種果汁的吸光度在波長 560~590nm 之間，一定都有一波峰出現。

問題五：純蘋果汁與食用級化學蘋果汁光譜之比較

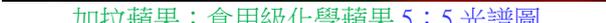
- (一) 討論：因為店家所使用的水果品種不盡相同，且和化學果汁混和的比例也不一，為了使果汁光譜資料更清楚，因此我們分別檢測比較了幾種店家常用品種的蘋果與食用化學濃

縮蘋果汁在不同比例濃度時的光譜。

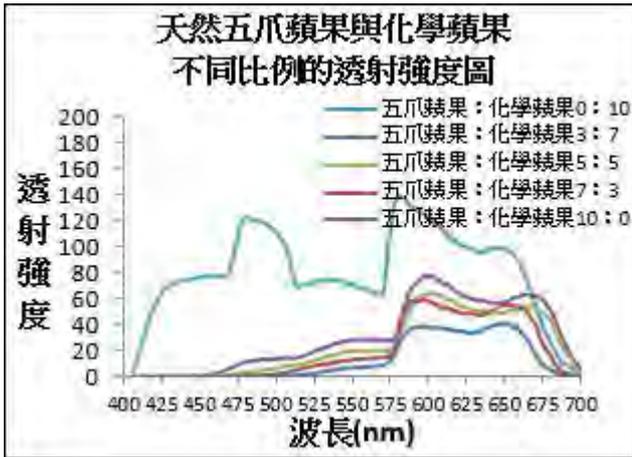
(二) 實驗步驟：

- 1.將已進行完前置作業的五爪蘋果、加拉蘋果、台灣蜜蘋果、美國富士蘋果等四種常用純蘋果汁，與依使用說明已稀釋過的化學濃縮蘋果汁混合，天然純蘋果汁：食用級化學蘋果汁濃度比例分別為 10：0，7：3，5：5，3：7，0：10。
- 2.將調好濃度的純蘋果汁及混合蘋果汁進行光譜檢測。
- 3.將檢測出的光譜照片，用 ImageJ 製作透射強度、吸光度比較圖，並進行光譜和吸光度的分析比較。

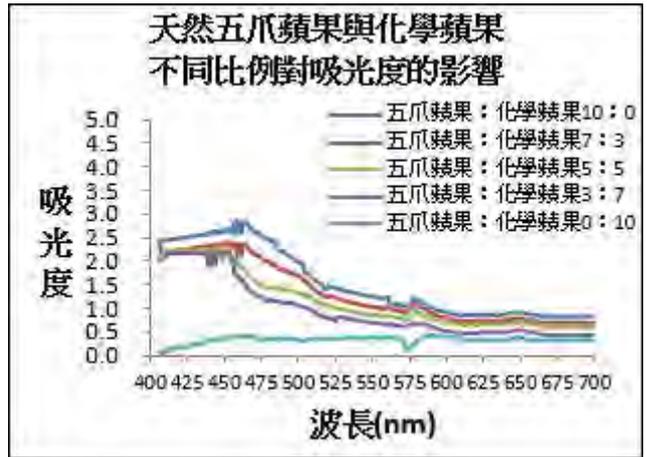
		
<p>離心蘋果汁和調配化學蘋果汁過程</p>	<p>離心後的蘋果汁</p>	<p>拍攝光譜過程</p>

 <p>蒸餾水光譜圖</p>	 <p>食用級化學蘋果光譜圖</p>
 <p>五爪蘋果：食用級化學蘋果 10：0 光譜圖</p>	 <p>五爪蘋果：食用級化學蘋果 7：3 光譜圖</p>
 <p>五爪蘋果：食用級化學蘋果 5：5 光譜圖</p>	 <p>五爪蘋果：食用級化學蘋果 3：7 光譜圖</p>
 <p>加拉蘋果：食用級化學蘋果 10：0 光譜圖</p>	 <p>加拉蘋果：食用級化學蘋果 7：3 光譜圖</p>
 <p>加拉蘋果：食用級化學蘋果 5：5 光譜圖</p>	 <p>加拉蘋果：食用級化學蘋果 3：7 光譜圖</p>
 <p>台灣蜜蘋果：食用級化學蘋果 10：0 光譜圖</p>	 <p>台灣蜜蘋果：食用級化學蘋果 7：3 光譜圖</p>
 <p>台灣蜜蘋果：食用級化學蘋果 5：5 光譜圖</p>	 <p>台灣蜜蘋果：食用級化學蘋果 3：7 光譜圖</p>
 <p>美國富士蘋果：食用級化學蘋果 10:0 光譜圖</p>	 <p>美國富士蘋果：食用級化學蘋果 7：3 光譜圖</p>
 <p>美國富士蘋果：食用級化學蘋果 5：5 光譜圖</p>	 <p>美國富士蘋果：食用級化學蘋果 3：7 光譜圖</p>

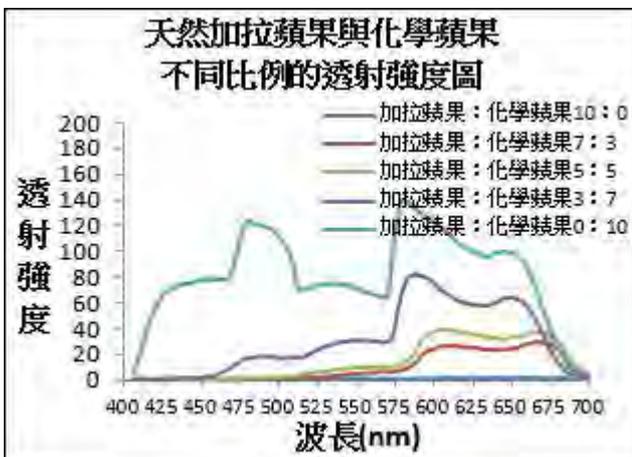
(三) 實驗結果：



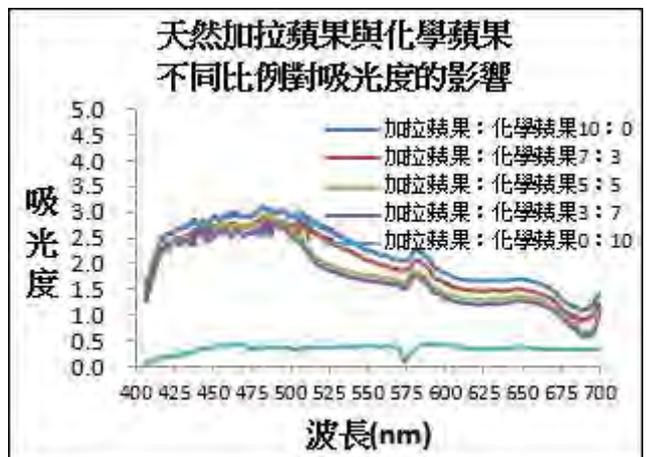
圖五-1 天然五爪蘋果與化學蘋果汁
不同比例的透射強度圖



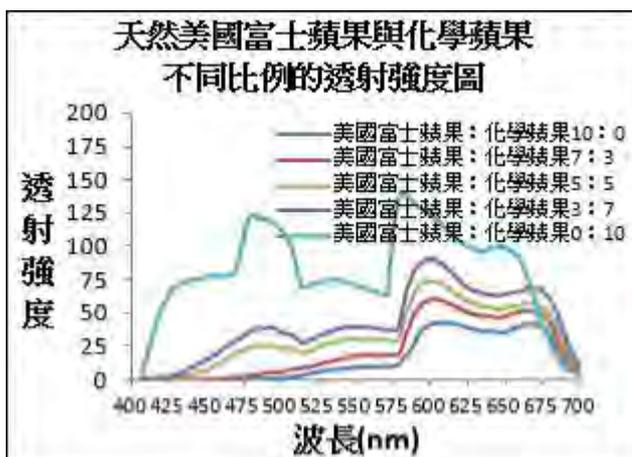
圖五-2 天然五爪蘋果與化學蘋果汁
不同比例對吸光度的影響



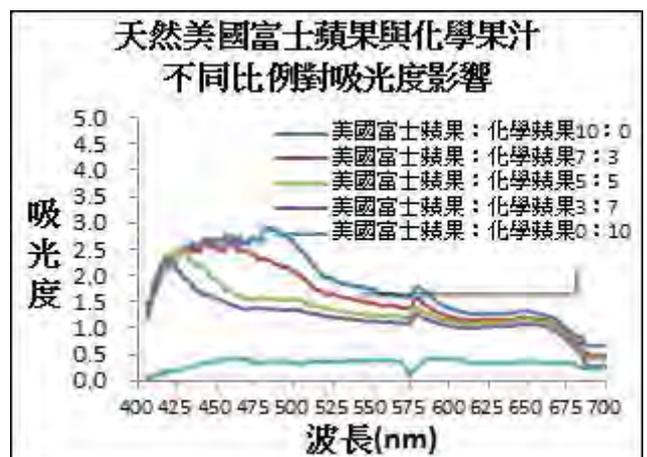
圖五-3 天然加拉蘋果與化學蘋果汁
不同比例的透射強度圖



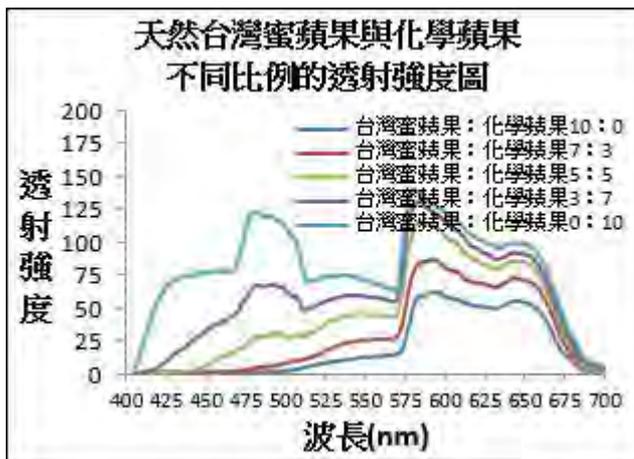
圖五-4 天然加拉蘋果與化學蘋果汁
不同比例對吸光度的影響



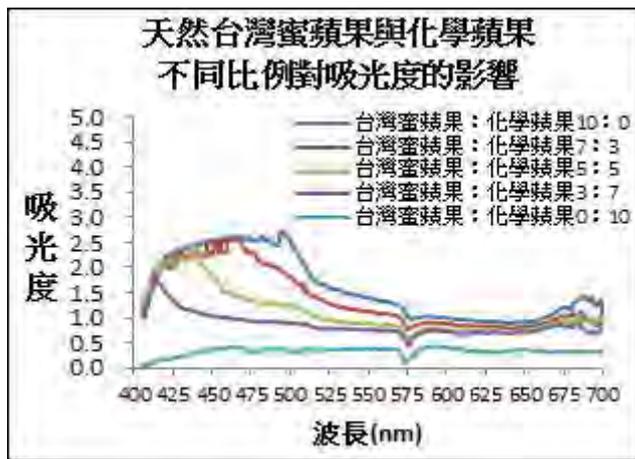
圖五-5 天然美國富士蘋果與化學蘋果汁
不同比例的透射強度圖



圖五-6 天然美國富士蘋果與化學蘋果汁
不同比例對吸光度的影響



圖五-7 天然臺灣蜜蘋果與化學蘋果汁
不同比例的透射強度圖



圖五-8 天然臺灣蜜蘋果與化學蘋果汁
不同比例對吸光度的影響

(四)結果討論：

1. 在圖五-1、3、5、7 的透射強度圖中，可以看出純化學蘋果汁的透射強度最高，和鎢絲燈泡的波形非常相似。其次也可以看到有加天然蘋果汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
2. 根據圖五-2、4、6、8 吸光度比較圖，可以明顯看到食用化學蘋果汁的吸光度在波長 575nm 左右，有一明顯之波谷，吸光度近於零，其餘波長的吸光度也大約都平穩的在 0.0~0.4 之間，較無明顯高低變化，呈現近似一條水平線。同時也可明顯看出食用級化學蘋果汁的吸光度也是全部蘋果汁中明顯最低的。天然蘋果汁濃度越高，吸光度越高。符合比爾朗博定律的吸光度公式。
3. 根據吸光度比較圖，所有天然純蘋果汁的吸光度在波長 400nm 左右開始上升，在波長 410~425nm 處上升到最高點，再來便有很大的起伏。且我們發現 100%純天然蘋果汁的吸光度大約都從波長 500nm 處開始逐漸下降。
4. 根據吸光度比較圖可看出，純蘋果汁吸光度由高到低為，加拉蘋果>美國富士蘋果>五爪蘋果>台灣蜜蘋果>食用化學蘋果。
5. 在波長 425~600nm 之間比較蘋果汁吸光度，或固定以波長 570~580nm 之間的波峰比較，是最容易明顯看出純蘋果汁或摻化學蘋果汁的差異方法。

問題六：純檸檬汁與食用級化學檸檬汁光譜之比較

(一) 討論：我們看到市售的檸檬汁會加一些東西讓檸檬汁更酸、更有檸檬味，這時的檸檬汁已不純了。這給了我們一個靈感，如果我們利用光譜儀來比較純天然檸檬汁及天然檸檬汁與化學檸檬汁混合的不同比例，是否也可從吸光度看出其差異呢？

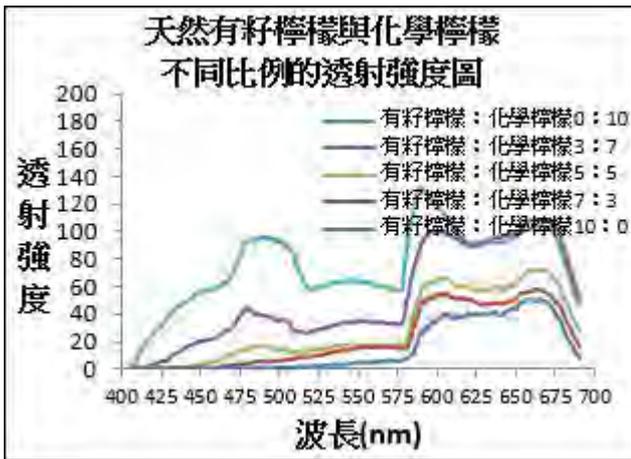
(二) 實驗步驟：

1. 榨出有籽及無籽檸檬汁並離心。
2. 按照比例調配化學檸檬汁。
3. 調配天然檸檬汁及化學檸檬汁不同的比例，並裝入比色管中進行光譜拍攝。
4. 將拍攝出的光譜照片，用 ImageJ 製作透射強度、吸光度比較圖，進行光譜和吸光度的分析比較。

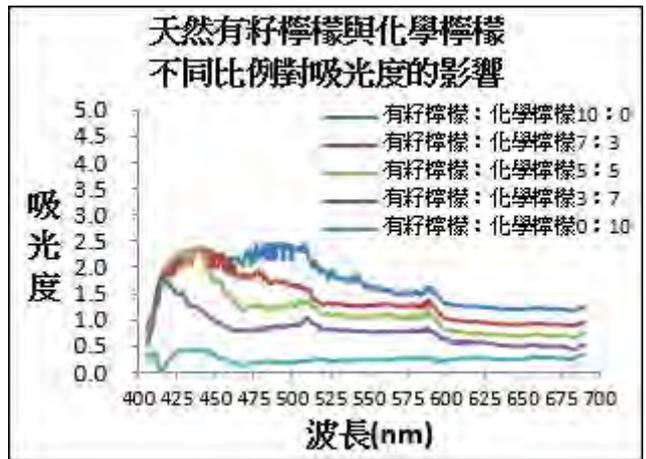
		
用離心機離心檸檬汁	調配化學檸檬汁	用手機光譜儀拍攝光譜圖

(三) 實驗結果：

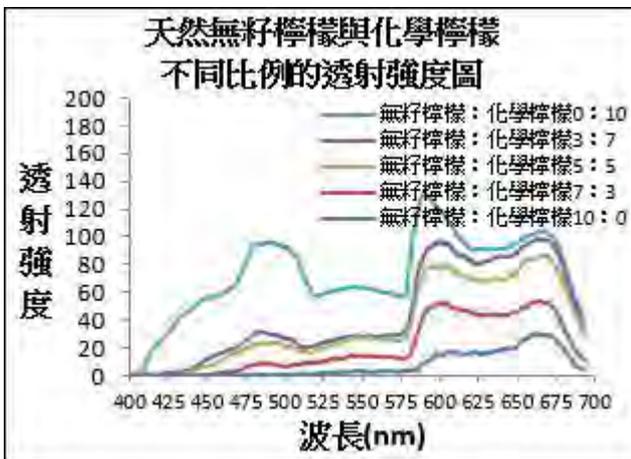
 鎢絲燈泡	 天然檸檬：化學檸檬0：10
 有籽檸檬：化學檸檬10：0	 有籽檸檬：化學檸檬7：3
 有籽檸檬：化學檸檬5：5	 有籽檸檬：化學檸檬3：7
 無籽檸檬：化學檸檬10：0	 無籽檸檬：化學檸檬7：3
 無籽檸檬：化學檸檬5：5	 無籽檸檬：化學檸檬3：7



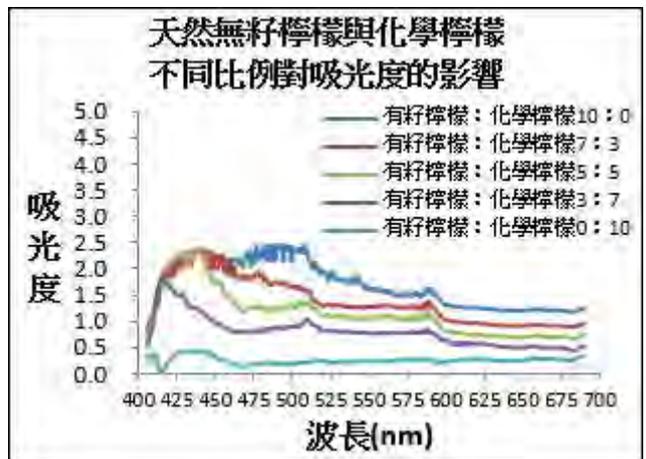
圖六-1 天然有籽檸檬與化學檸檬汁不同比例的透射強度圖



圖六-2 天然有籽檸檬與化學檸檬汁不同比例對吸光度的影響



圖六-3 天然無籽檸檬與化學檸檬汁不同比例的透射強度圖



圖六-4 天然無籽檸檬與化學檸檬汁不同比例對吸光度的影響

(四) 結果討論：

1. 在圖四-1、3 的透射強度圖中，可以看出化學檸檬汁的透射強度最高；有加天然檸檬汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
2. 除了檸檬：食用化學檸檬汁 0：10 外，其他的檸檬汁：食用化學檸檬汁，各濃度吸光度比較圖在波長 400~430nm 有明顯的上升，500nm 後，緩緩下降。在波長 450~515nm 左右有較小的波峰。515nm 後，能量緩緩下降並呈現平穩狀到 575nm 左右。575nm~625nm 左右，所有檸檬汁皆出現一波峰，接著便下降，呈現平滑狀，有些微起伏。最後在 675nm 所有檸檬汁皆開始下降到最低谷。
3. 根據所有吸光度圖，皆可明顯看出無論是有籽或無籽純天然檸檬汁的吸光度皆比純化學

檸檬汁高許多，天然檸檬汁濃度越高，吸光度越高；加了越多化學檸檬汁，吸光度就越低，符合比爾朗博定律的吸光度公式，也印證了我們一開始的預測。食用化學檸檬汁無論在波長 420~675nm 之間的任何一處，其吸光度皆較其他檸檬汁低，吸光度皆低於 0.4 以下，呈現近似一條水平線，表示化學檸檬汁較不易吸收任何顏色的光譜。其他的天然檸檬：食用化學檸檬汁各濃度吸光度比較圖，在波長 475~575nm 間，吸光度都在 0.6 以上。因此，我們只要在波長 475~525nm 之間比較檸檬汁的吸光度，就可以明顯判斷果汁中是否含有化學成分了。

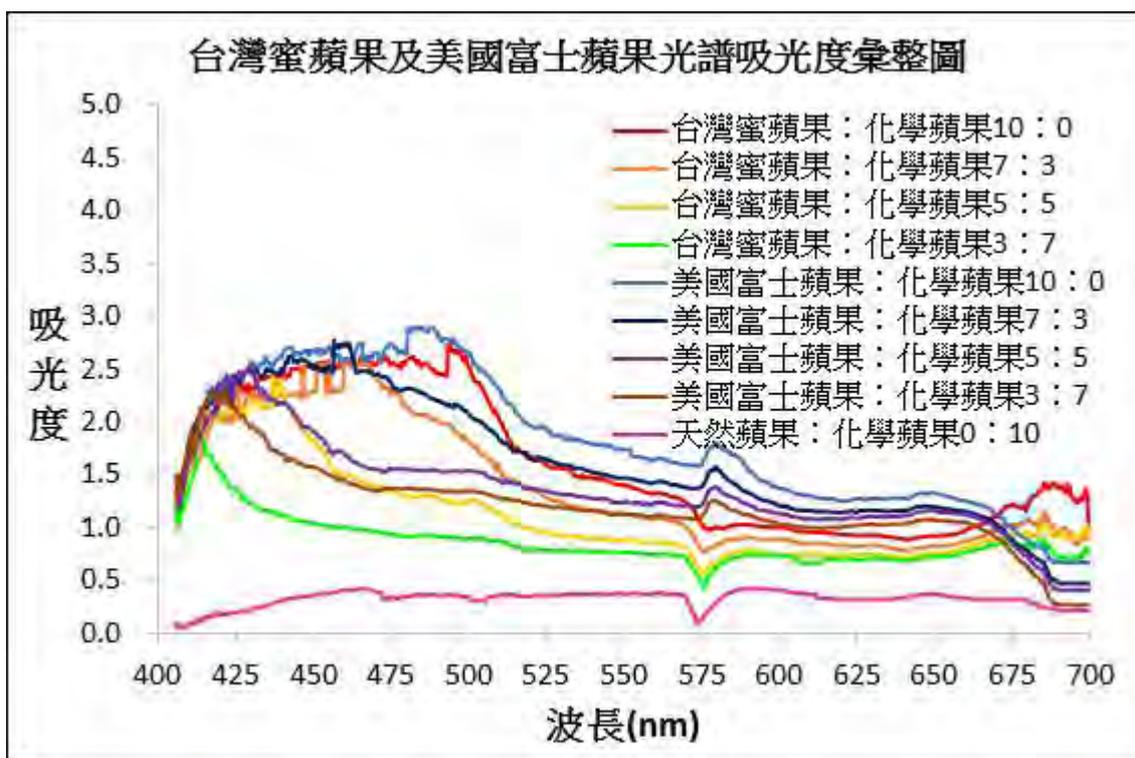
問題七：蘋果汁純度與檸檬汁純度光譜數據資料庫建置

(一) 討論：在市售果汁中，我們最常看見的就是蘋果汁以及檸檬汁，因此我們想建置一個小型簡易數據資料庫，讓大家在以光譜進行果汁檢測時，可以透過這個資料庫，簡易對照數據，推測果汁是否含有化學成分。

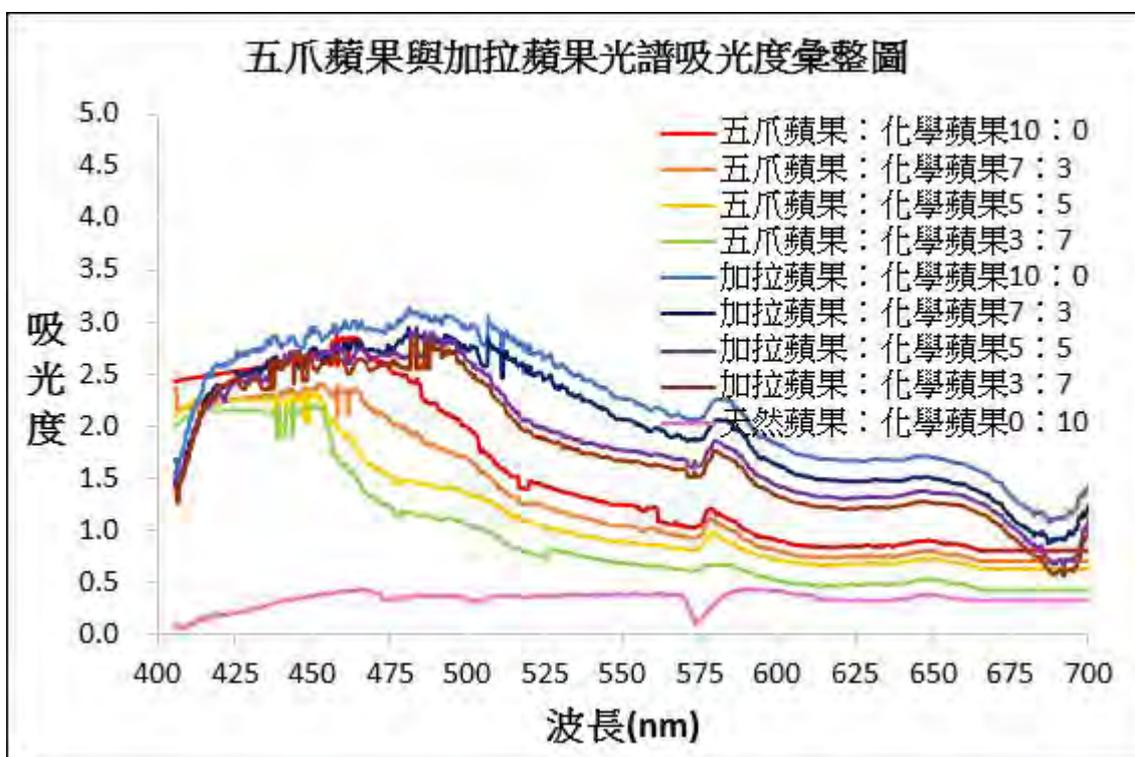
(二) 建置步驟：

1. 將所有蘋果汁和檸檬汁吸光度分別儲存置於 E-xcel 檔裡。
2. 因每種待測物的吸光度圖數據皆在千筆以上，很龐大，運算較慢，因此將蘋果分為二類彙整：一為傳統市場常見類(台灣蜜蘋果、美國富士蘋果)；一為超級市場常見類(五爪蘋果、加拉蘋果)；各製作成一張光譜吸光度彙整圖。
3. 檸檬則可合併製成有籽檸檬及無籽檸檬的光譜吸光度彙整圖。
4. 觀察比較各種果汁在不同波長的吸光度，選擇容易區分的相同波長的波峰，對照其吸光度，統整成一吸光度數據表格，提供大眾對照使用。

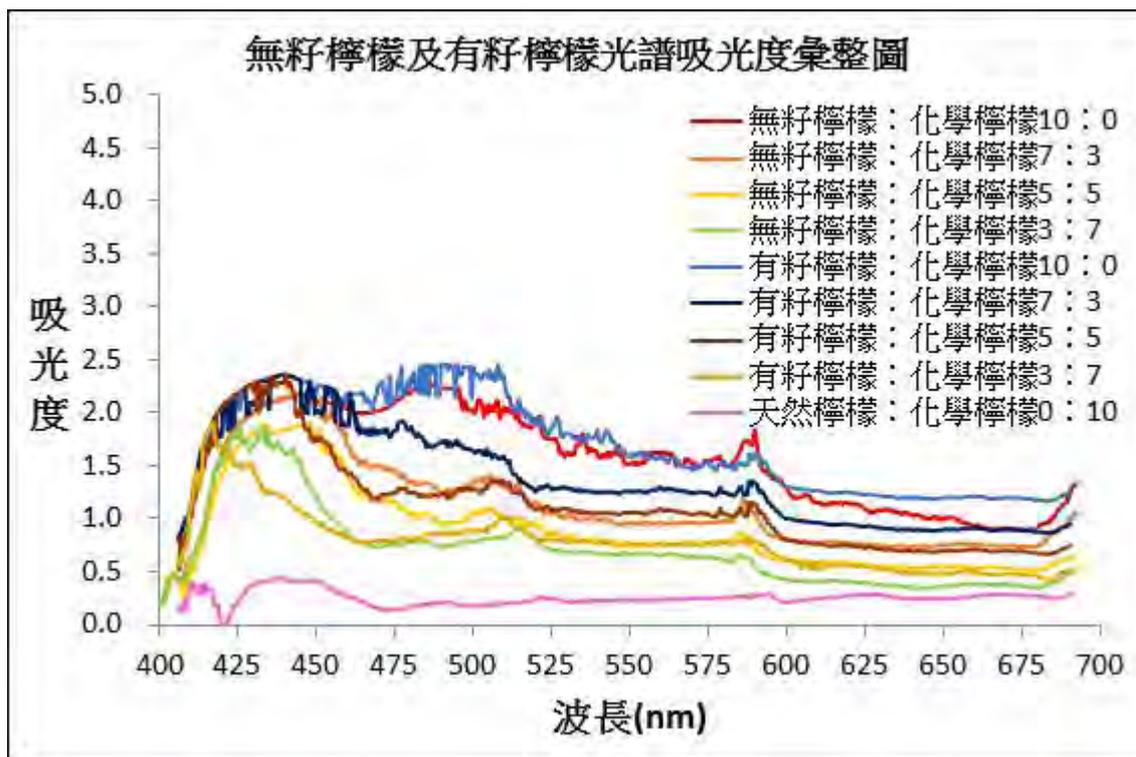
(三) 資料庫：



圖七-1 天然台灣蜜蘋果及美國富士蘋果光譜吸光度彙整圖



圖七-2 天然五爪蘋果及加拉蘋果光譜吸光度彙整圖



圖七-3 天然無籽檸檬及有籽檸檬光譜吸光度彙整圖

表七-1 不同種類蘋果汁光譜吸光度數據資料庫

蘋果種類	台灣蜜蘋果		美國富士蘋果		五爪蘋果		加拉蘋果	
	波谷 波長 nm	吸光度	波峰 波長 nm	吸光度	波峰 波長 nm	吸光度	波峰 波長 nm	吸光度
天然蘋果:化學蘋果 10:0	575	1.05	576	1.85	576	1.20	577	2.25
天然蘋果:化學蘋果 7:3	575	0.75	576	1.65	576	1.15	577	2.05
天然蘋果:化學蘋果 5:5	575	0.60	576	1.40	576	1.00	577	1.85
天然蘋果:化學蘋果 3:7	575	0.40	576	1.20	576	0.70	577	1.70
天然蘋果:化學蘋果 0:10	575	0.10	575	0.10	575	0.10	575	0.10

表七-2 不同種類檸檬汁光譜吸光度數據資料庫

蘋果種類	無籽檸檬		有籽檸檬	
	波峰 波長 nm	吸光度	波峰 波長 nm	吸光度
天然檸檬：化學 檸檬 10：0	577	1.75	578	1.50
天然檸檬：化學 檸檬 7：3	577	1.15	578	1.40
天然檸檬：化學 檸檬 5：5	577	0.80	578	1.15
天然檸檬：化學 檸檬 3：7	577	0.60	578	0.80
天然檸檬：化學 檸檬 0：10	577	0.25	577	0.25

(四)資料統整：

- 1.根據我們彙整的數據資料庫，只要製作簡易又便宜的光譜儀（請見問題二），檢測蘋果汁及檸檬汁的光譜，**對照資料庫數據**，就能很容易**判斷飲料中是否添加了化學成分**。
- 2.在所有圖表裡都顯示了**天然果汁吸光度皆比化學果汁高許多**，**化學果汁吸光度幾乎皆維持在 0.4 以下**。此發現，提供了從吸光度數據，即可**明顯輕易觀察出真假果汁純度判別**的簡易性與準確性了。
- 3.此數據資料庫的建置是選擇**各種果汁具有明顯波峰**的波長位置，對照其吸光度所得，其中只有**台灣蜜蘋果的吸光度很特殊**，**僅發現其明顯波谷**，**未發現其明顯波峰**，因此**台灣蜜蘋果的吸光度對照是取波谷位置所得**。

柒、討論與建議

- 一、拍光譜圖之前，要注意果汁離心完成後，將離心管拿出，小心**不要搖晃到**，並且**用針管抽出中層的液態果汁**，**避免吸到上層的氣泡及下層的沉澱物質**，以免影響光譜的拍

照結果分析。

- 二、不同顏色的試樣溶液會吸收不同波長範圍的可見光，試樣溶液若有顏色，則會吸收特定波長範圍的可見光，因此可選擇以可見光吸光測定法分析。
- 三、根據製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較結果(p6)及三種光譜儀對省電燈泡標準光譜儀的對照比較，我們發現：手機光譜儀在二項評比的效果皆最佳，光柵光譜儀其次，光碟光譜儀的誤差頗明顯。光碟光譜儀的檢測結果有較大的差異，我們推測有幾個原因：光碟片的品質可能不如光柵片、光碟光譜儀角度的調整尚不夠精準。
- 四、透出光之強度除了與待測物之濃度有關外，尚受比色管材質或環境等之影響。由於透射強度是相對單位，在不同手機、環境，或是不同品牌燈泡下，都會有不同結果，因此建議使用吸光度，做為絕對單位的比較分析，以避免不同實驗設定的差異。
- 五、可見光源多屬熱光源，如鎢燈及鹵燈，發射光譜約在 320-2500 nm；紫外光源多為氣體放電光源，其中以氫與汞燈應用最廣，波長範圍約 160-500 nm。果汁的波長大部分集中在波長 400~700nm 之間，且鎢絲燈泡為連續光譜，可進行果汁光譜分析，因此建議以鎢絲燈泡為光源即可。
- 六、為了避免按手機拍照時震動到手機，影響結果分析，並希望能保持暗箱全暗，因此建議拍攝光譜時，用藍牙相機遙控器與手機連線拍照。
- 七、天然的純果汁很明顯地吸光度較高；而化學果汁，無論在任何波長，吸光度皆明顯偏低，幾近似吸光度 0.4 以下的一條水平線，極易比較觀察。因此，從觀察吸光度來判別比較果汁是否含有化學成分，是值得推薦的簡易方法。

捌、結論

- 一、因擔心背景值的干擾，所以製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較。由實際實測結果可看出，三種光譜儀背景值影響度均很低，特別是手機光譜儀效果更佳，因此可忽略不用另計算背景值。
- 二、根據製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較結果(p6)及三種光譜儀對省電燈泡標準光譜儀的對照比較，手機光譜儀在二項評比的效果皆最佳，光柵光譜儀其次，光碟光譜儀的

誤差頗明顯。因此，本研究以手機光譜儀做為光譜檢測的工具。同時對以光碟製作光譜儀檢測的準確性，持保留態度。

- 三、由於透射強度是相對單位，在不同手機、環境，或是不同品牌燈泡下，都會有不同結果，因此我們進一步使用吸光度，可做為絕對單位的比較分析，以避免不同實驗設定的差異。
- 四、所有不同濃度果汁的透射強度皆在波長 400nm 開始上升，並在波長 475~515nm 之間有一平穩的小高台，接著便開始下降；在 525~575nm 之間呈現較平穩波狀。在 575nm~600nm 左右，透射強度均突然上升許多，之後在 625~675nm 左右呈現平穩狀，有些微起伏，在 675nm 後，幾乎便下降到最低點。
- 五、從所有果汁的吸光度圖皆能看到，果汁的濃度越高，吸光度則越高，符合比爾朗博定律的吸光度公式。而透射強度圖則相反，果汁的濃度越高，透射強度反而越低。且各種果汁的吸光度在波長 560~590nm 之間，一定都有一波峰出現。
- 六、從問題五的實測透射強度圖中，可以看出純化學蘋果汁的透射強度最高，有加天然蘋果汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
- 七、根據問題五的吸光度比較圖，可以明顯看到食用化學蘋果汁的吸光度在波長 575nm 左右，有一明顯之波谷，吸光度幾近於零，其餘波長的吸光度也大約都平穩的在 0.0~0.4 之間，較無明顯高低變化，沒有波峰，呈現近似一條水平線。同時也可明顯看出食用級化學蘋果汁的吸光度也是全部蘋果汁中明顯最低的。
- 八、根據吸光度比較圖，皆可看出天然蘋果汁也是濃度越高，吸光度越高，符合比爾朗博定律的吸光度公式。
- 九、在問題六的實測透射強度圖中，可以看出化學檸檬汁的透射強度最高；有加天然檸檬汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
- 十、根據所有吸光度圖，皆可看出無論是有籽及無籽純天然檸檬汁的吸光度皆比純化學檸檬汁高許多，天然檸檬汁濃度越高，吸光度越高；加了越多化學檸檬汁，吸光度就越低，符合比爾朗博定律的吸光度公式，也印證了我們一開始的預測。
- 十一、食用化學檸檬汁無論在波長 420~675nm 之間的任何一處，其吸光度皆較其他檸檬汁低，吸光度皆低於 0.4 以下，沒有波峰，呈現近似一條水平線，表示化學檸檬汁較不易吸收

任何顏色的光譜。其他的天然檸檬：食用化學檸檬汁各濃度吸光度比較圖，在波長 475 ~575nm 間，吸光度都在 0.6 以上。因此，我們只要在波長 475~525nm 之間比較檸檬汁的吸光度，就可以明顯判斷果汁中是否含有化學成分了。

玖、參考資料

李匡邦、何東英、許東明[民 86]。光譜化學分析: Spectrochemical analysis。臺北市:揚智文化。

游瑞成(譯)[民 76]。有機光譜學(原作者: SILVERSTEIN, ROBERT M)。臺北市:徐氏。

陳錫疇(譯)[民 66]。有機光譜分析(原作者: Dyer, John R.)。臺北市:科學圖書社。

光學頻譜-維基百科，自由的百科全書-Wikipedia

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E5%AD%B8%E9%A0%BB%E8%AD%9C>

光譜儀 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E8%B0%B1%E4%BB%AA>

光譜 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E5%AD%B8%E9%A0%BB%E8%AD%9C>

色散系統 <http://baike.baidu.com/item/%E5%85%89%E8%B0%B1/757474>

波長 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%A2%E9%95%BF>

吸光度 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%90%B8%E5%85%89%E5%BA%A6>

【評語】 080202

本作品以食安議題出發，非常具生活應用性，並且由網路教學自製作三種光譜儀測定天然果汁與化學果汁的吸收光譜，最後以手機光譜儀進行實驗，的確相當不錯。然而，學生對光譜分析物質的科學知識認知不足，欠缺科學邏輯性的探討，例如，如何設定基本條件的檢測？製定果汁濃度比例之依據為何？存在於果汁中的天然或化學色素的吸收度被忽略，以實驗所得數據進行分析及推論時需要嚴謹的理論基礎作為依據等。本研究所需使用的光譜分析技術的科學基礎已經超過小學生的理解能力範圍，而數據分析的數學能力對小學生而言也是非常困難，期待學生們未來在學習奠定紮實的科學基礎後，一定可以有亮麗成功的科展表現。

作品海報

摘要

本研究的目的是要透過天然果汁和食用化學果汁之透射強度及光譜吸光度圖的實驗結果，建置一個小型數據資料庫，讓大眾能透過自製簡易光譜儀，檢測對照蘋果汁和檸檬汁是否含有化學成分。根據實測結果發現，天然果汁濃度愈高，吸光度亦愈高；而天然果汁內加入的化學成分比例愈高，則吸光度反而愈低；且可明顯看出，完全無天然果汁的化學果汁，其吸光度呈現出一條沒有波峰且吸光度僅維持在0.4以下的近似水平線。

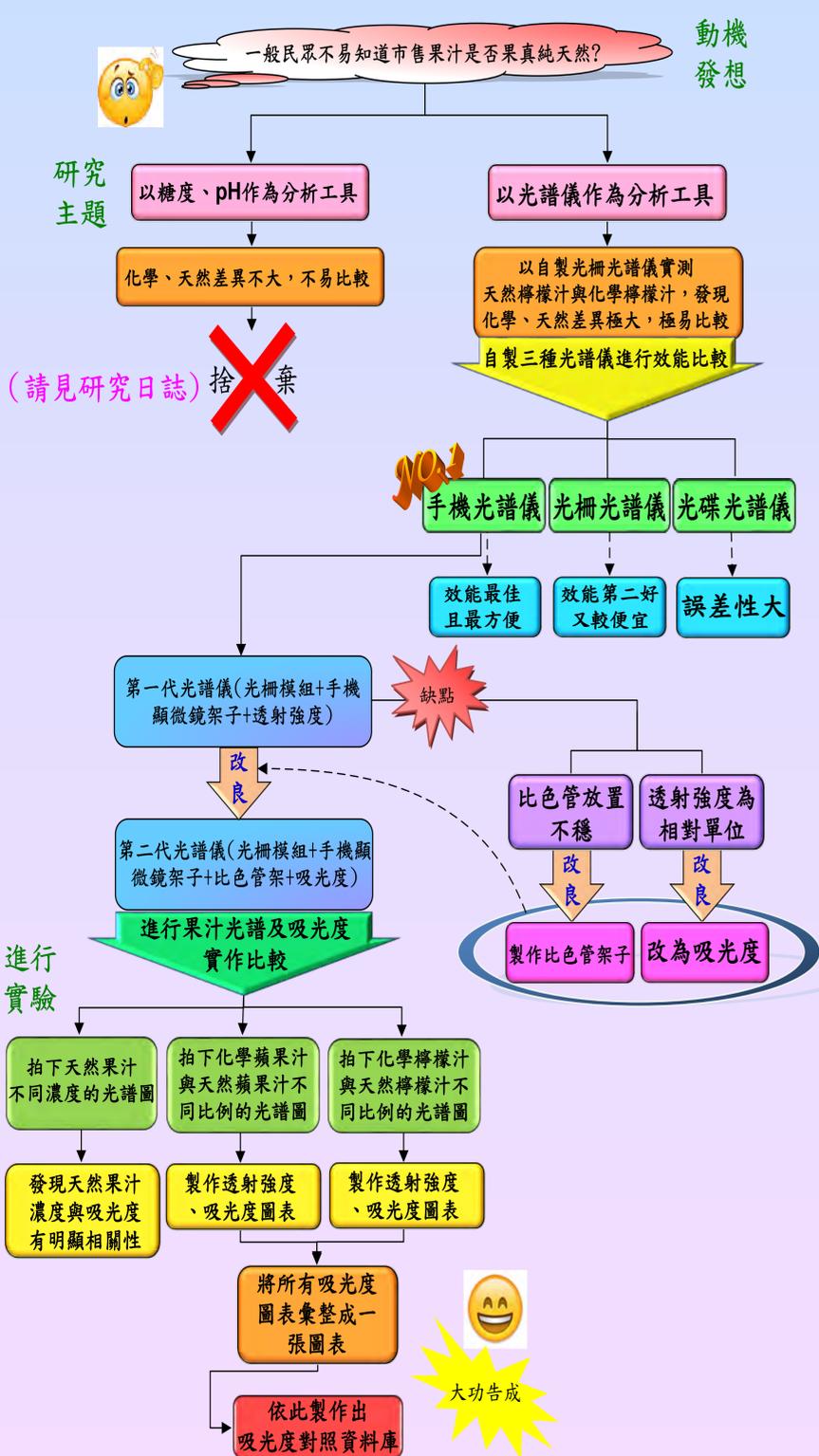
壹、研究動機

有一次喝著買來的手搖杯果汁時，突然覺得那麼大一杯的果汁，如果自己打，會需要用到大量的水果，為什麼飲料店還可以賣這麼便宜呢？剛好上課時，老師曾提及利用光譜亦可看出物質的內含差異，甚至可看出物質不同的內含化學成分。因此，我們也想嘗試製作成本低、操作簡易的光譜儀，比較天然果汁與化學果汁吸光度的差異，甚至進一步想利用自然課學過溶液濃度調配的方法，製作不同濃度比例的果汁，並將比較結果製作一個小型數據資料庫，希望讓一般人也能使用簡易的光譜儀，對照數據，檢驗自己的果汁是否真的純天然。

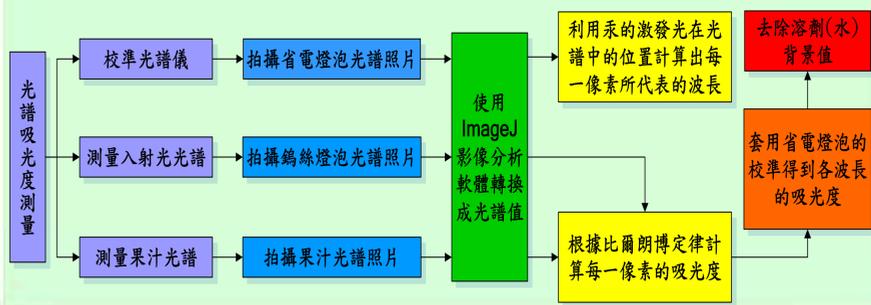
貳、研究目的

- 一、了解光譜產生、光譜儀及吸光度的原理。
- 二、學習製作光譜儀及光譜波長吸光度圖。
- 三、比較不同水果與不同濃度的光譜改變。
- 四、探討化學和天然果汁如何以吸光度分辨。
- 五、建立果汁的波長及吸光度小型數據資料庫。

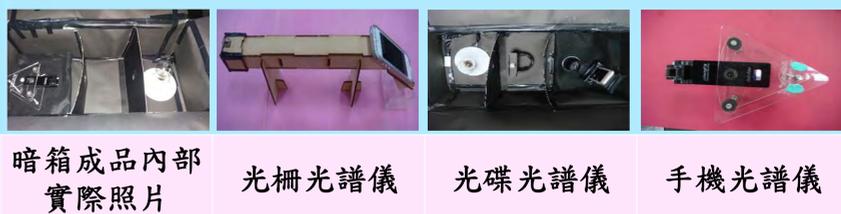
參、研究架構



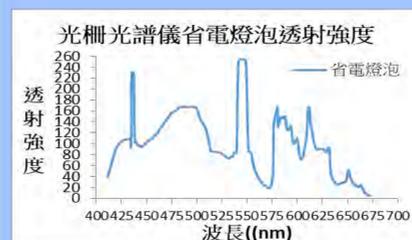
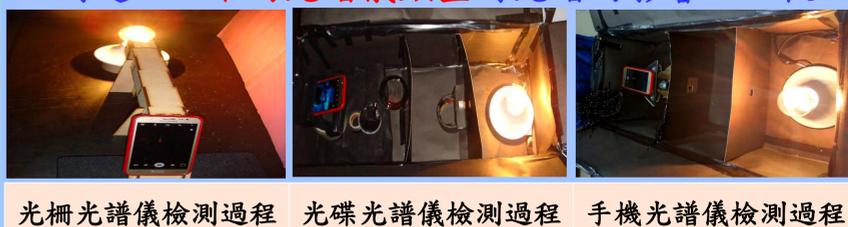
二、光譜吸光度測量操作步驟彙整圖



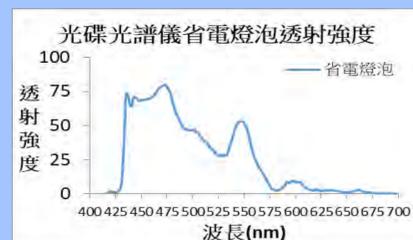
問題二：光柵、光碟、手機三種光譜儀之製作



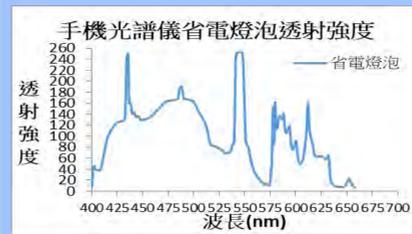
問題三：不同光譜儀類型對光譜的影響之比較



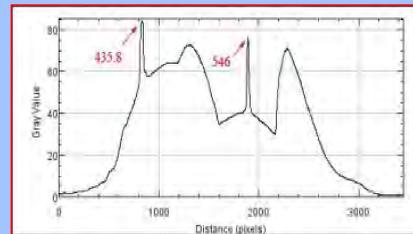
圖三-1 光柵光譜儀透射強度圖



圖三-2 光碟光譜儀透射強度圖



圖三-3 手機光譜儀透射強度圖

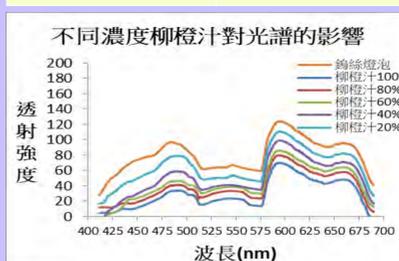
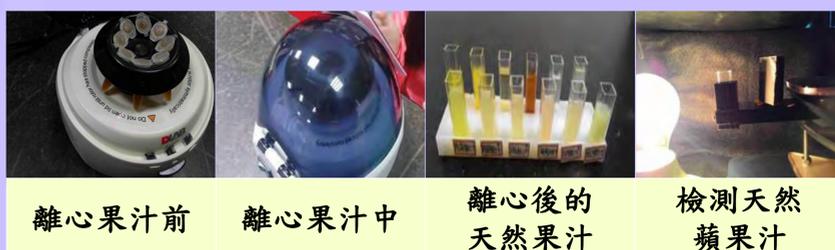


圖三-4 省電燈泡標準光譜儀透射強度圖

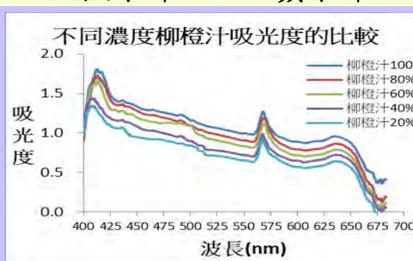
(一) 結果討論：

1. 根據光譜的透射強度圖，手機光譜儀所拍出的省電燈泡光譜圖，最接近標準光譜儀的透射強度圖；光柵光譜儀也很接近，僅有些微的差異。
2. 較意外的是，經過幾次的測試比較，光碟光譜儀檢測出的透射強度圖，結果似乎均較不理想，且與光柵光譜儀及手機光譜儀的檢測結果有較大的差異。
3. 根據製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較結果及三種光譜儀對省電燈泡標準光譜儀的對照比較，我們發現：手機光譜儀在二項評比的效果皆最佳，光柵光譜儀其次，光碟光譜儀的誤差頗明顯。因此，後續所要進行的檢測，本研究將以手機光譜儀做為光譜檢測的工具，並且期望將分析檢測後的數據製作一小型數據資料庫。

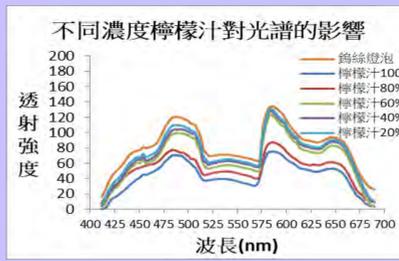
問題四：不同濃度天然果汁的光譜比較



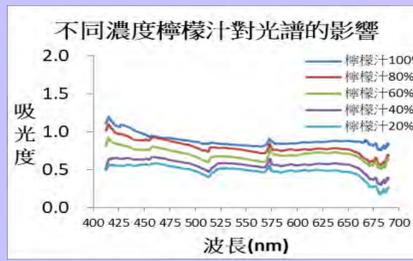
圖四-1 不同濃度柳橙汁對光譜的影響



圖四-2 不同濃度柳橙汁吸光度的比較



圖四-3 不同濃度檸檬汁對光譜的影響

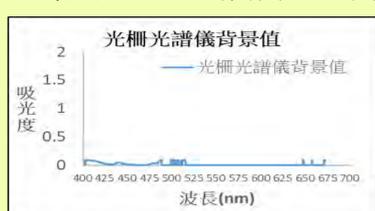


圖四-4 不同濃度檸檬汁吸光度的比較

肆、實驗過程與方法

問題一：檢測吸收光譜之基本標準程序

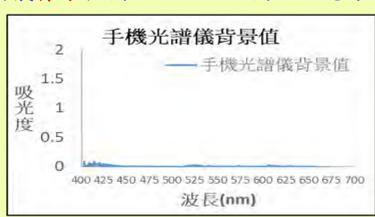
一、製作去除溶劑(蒸餾水)背景值之光譜比較圖



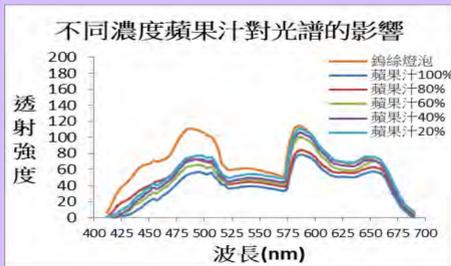
圖一-1 光柵光譜儀背景值圖



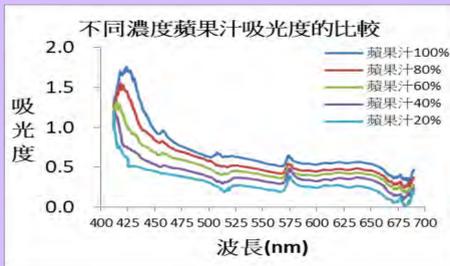
圖一-2 光碟光譜儀背景值圖



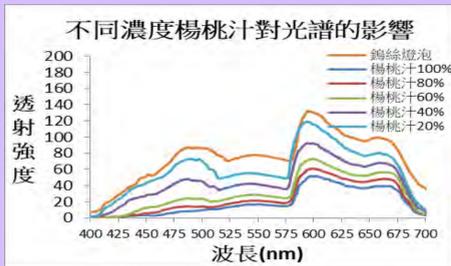
圖一-3 手機光譜儀背景值圖



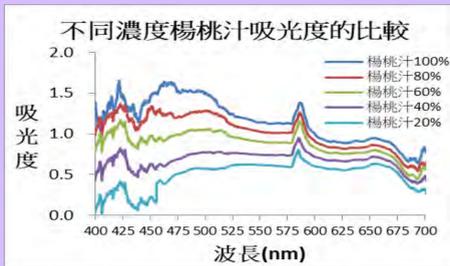
圖四-5不同濃度蘋果汁對光譜的影響



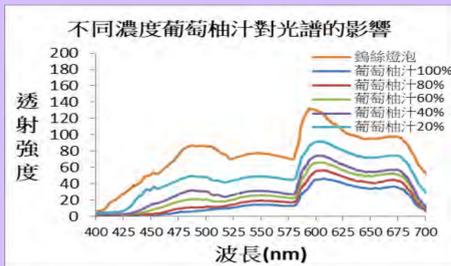
圖四-6不同濃度蘋果汁吸光度的比較



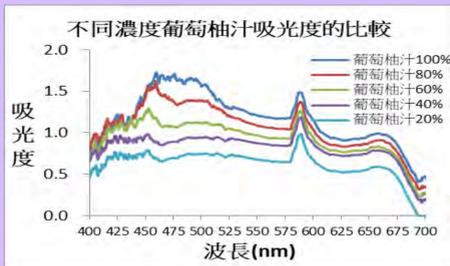
圖四-7不同濃度楊桃汁對光譜的影響



圖四-8不同濃度楊桃汁吸光度的比較



圖四-9不同濃度葡萄柚汁對光譜的影響



圖四-10不同濃度葡萄柚汁吸光度的比較

(一)結果討論：

- 1.由於透射強度是相對單位，在不同手機、環境，或是不同品牌燈泡下，可能會有不同結果，因此我們進一步使用吸光度，可做為絕對單位的比較分析，以避免不同實驗設定的差異。
- 2.所有不同濃度果汁的透射強度皆在波長400nm開始上升，並在波長475~515nm之間有一平穩的小高台，接著便開始下降；在525~575nm之間呈現較平穩波狀。在575nm~600nm左右，透射強度均突然上升許多，之後在625~675nm左右呈現平穩狀，有些微起伏，在675nm後，幾乎便下降到最低點。
- 3.在吸光度的部分，根據可見光波長的分布我們發現，柳橙汁的濃度越高，吸收的紅光越多，而吸收的綠、藍光，相對較少；檸檬汁的濃度則與吸光度呈現正相關的關係；蘋果汁的濃度越高，吸收的綠、藍光也相對較少；而楊桃汁與葡萄柚汁的濃度越高，吸光度也均越高。
- 4.從所有果汁的吸光度圖皆能看到，果汁的濃度越高，吸光度則越高；而透射強度圖則相反，果汁的濃度越高，透射強度反而越低。且各種果汁的吸光度在波長560~590nm之間，一定都有一波峰出現。

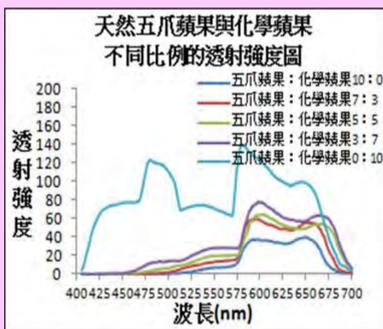
問題五：純蘋果汁與食用級化學蘋果汁光譜之比較



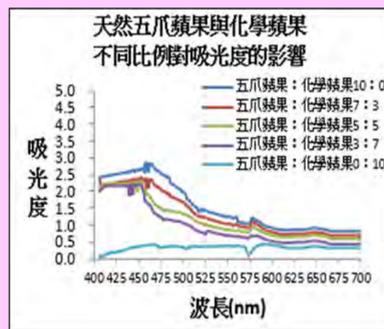
離心蘋果汁和調配化學蘋果汁過程

離心後的蘋果汁

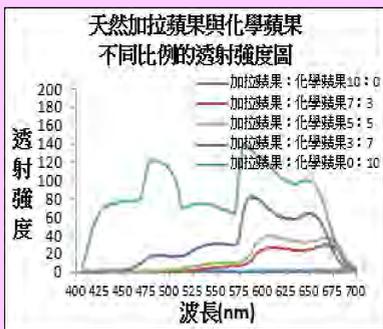
拍攝光譜過程



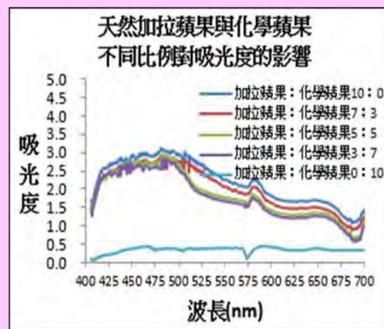
圖五-1天然五爪蘋果與化學蘋果汁不同比例的透射強度圖



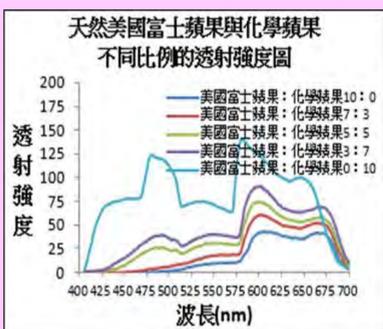
圖五-2天然五爪蘋果與化學蘋果汁不同比例對吸光度的影響



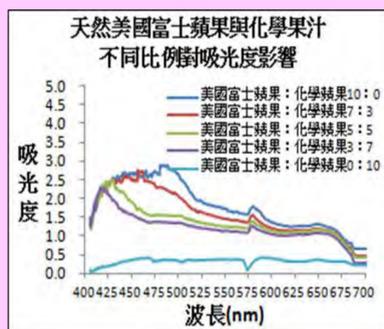
圖五-3天然加拉蘋果與化學蘋果汁不同比例的透射強度圖



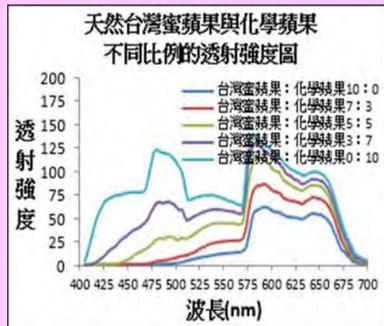
圖五-4天然加拉蘋果與化學蘋果汁不同比例對吸光度的影響



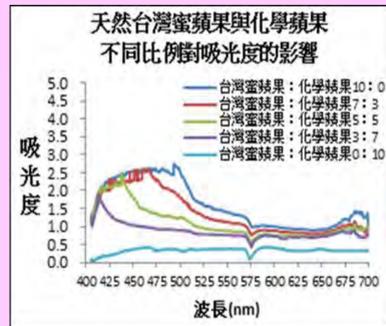
圖五-5天然美國富士蘋果與化學蘋果汁不同比例的透射強度圖



圖五-6天然美國富士蘋果與化學蘋果汁不同比例對吸光度的影響



圖五-7天然台灣蜜蘋果與化學蘋果汁不同比例的透射強度圖



圖五-8天然台灣蜜蘋果與化學蘋果汁不同比例對吸光度的影響

(一)結果討論：

- 1.在圖五-1、3、5、7的透射強度圖中，可以看出化學蘋果汁的透射強度最高，和鎢絲燈泡的波形相似；加了天然蘋果汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
- 2.根據圖五-2、4、6、8吸光度比較圖，可以明顯看到食用化學蘋果汁的吸光度在波長575nm左右，有一明顯之波谷，吸光度近於零，其餘波長的吸光度也大約都在0.0~0.4之間，較無明顯高低變化，呈現近似一條水平線。同時也可明顯看出食用級化學蘋果汁的吸光度也是全部蘋果汁中明顯最低的。天然蘋果汁濃度越高，吸光度越高。符合比爾朗博定律的吸光度公式。
- 3.根據吸光度比較圖，所有天然純蘋果汁的吸光度在波長400nm左右開始上升，在波長410~425nm處上升到最高點，再來便有很大的起伏。且我們發現100%純天然蘋果汁的吸光度約從波長500nm處開始逐漸下降。
- 4.根據吸光度比較圖可看出，純蘋果汁吸光度由高到低為，加拉蘋果>美國富士蘋果>五爪蘋果>台灣蜜蘋果>食用化學蘋果。
- 5.在波長425~600nm間比較蘋果汁吸光度，或以波長570~580nm間的波峰比較，最容易看出純蘋果汁或摻化學蘋果汁的差異。天然台灣蜜蘋果較特殊，在波長575 nm左右，雖形成波谷，然在波長450~550 nm之間，都非常容易看出其純度比例的不同。

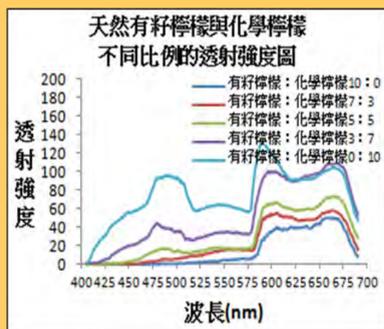
問題六：純檸檬汁與食用級化學檸檬汁光譜之比較



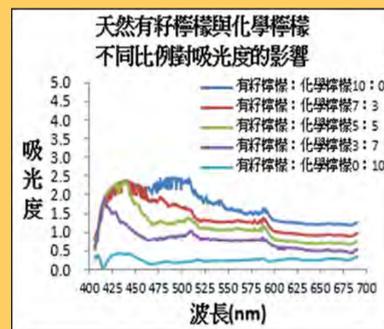
用離心機離心檸檬汁

調配化學檸檬汁

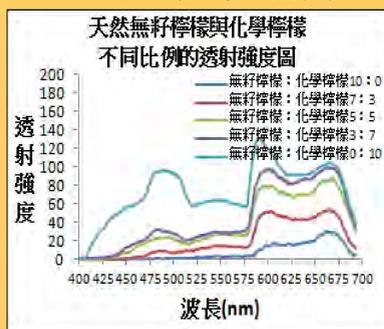
用光譜儀拍攝光譜圖



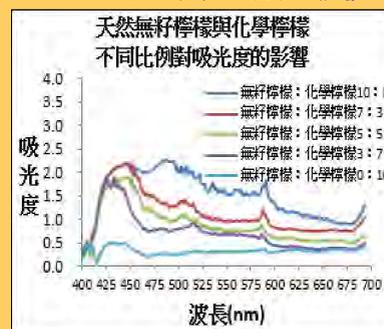
圖六-1天然有籽檸檬與化學檸檬汁不同比例的透射強度圖



圖六-2天然有籽檸檬與化學檸檬汁不同比例對吸光度的影響



圖六-3天然無籽檸檬與化學檸檬汁不同比例的透射強度圖

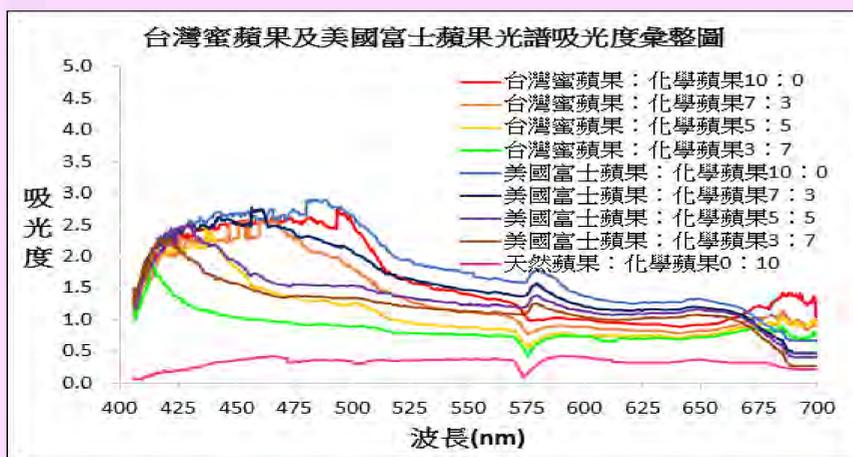


圖六-4天然無籽檸檬與化學檸檬汁不同比例對吸光度的影響

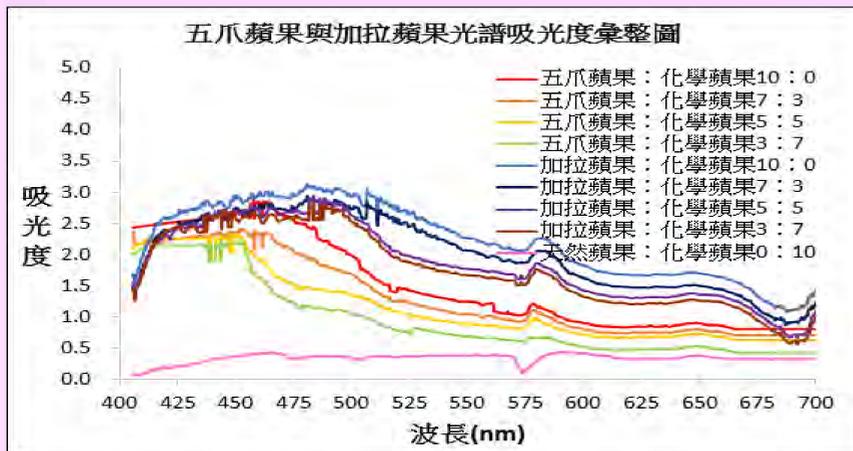
(一)結果討論：

- 1.在圖六-1、3的透射強度圖中，可以看出化學檸檬汁的透射強度最高；有天然檸檬汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
- 2.除了檸檬：食用化學檸檬汁0：10外，其他的檸檬汁：食用化學檸檬汁，各濃度吸光度比較圖在波長400~430nm均有明顯的上升，波長500 nm後，緩緩下降。在波長450~515nm有較小的波峰。515nm後，能量緩緩下降並呈現平穩狀到575nm左右。575~625nm左右，所有檸檬汁皆出現一波峰，接著下降，呈現平滑狀，有些微起伏。最後在675nm所有檸檬汁皆開始下降到最低谷。
- 3.根據所有吸光度圖，皆可看出無論是有籽或無籽純檸檬汁的吸光度皆比化學檸檬汁高，天然檸檬汁濃度越高，吸光度越高；加了越多化學檸檬汁，吸光度就越低，符合比爾朗博定律的吸光度公式。食用化學檸檬汁無論在波長420~675 nm之間的任何一處，其吸光度皆較其他檸檬汁低，且低於0.4以下，呈現近似一條水平線，表示化學檸檬汁較不易吸收任何顏色的光譜。其他的天然檸檬：食用化學檸檬汁各濃度吸光度比較圖，在波長475~575nm間，吸光度都在0.6以上。因此，我們只要比較波長475~525nm間檸檬汁的吸光度，便可判斷果汁中是否含有化學成分。

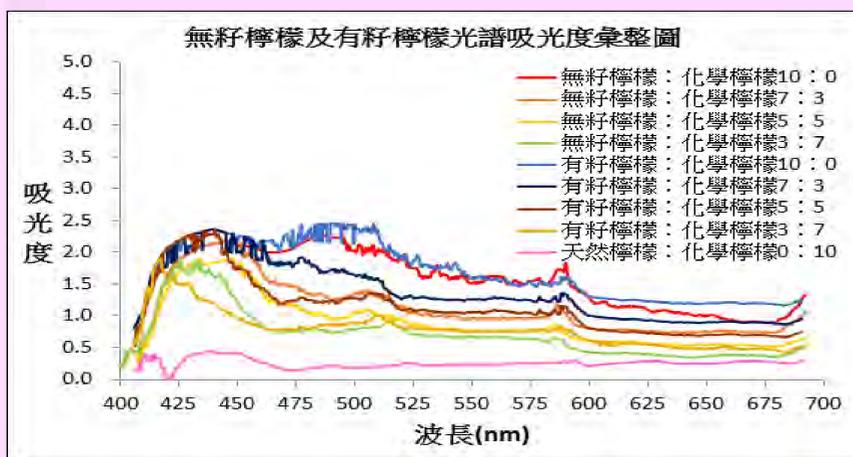
問題七：蘋果汁純度與檸檬汁純度光譜數據資料庫建置



圖七-1 天然台灣蜜蘋果及美國富士蘋果光譜吸光度彙整圖



圖七-2 天然五爪蘋果及加拉蘋果光譜吸光度彙整圖



圖七-3 天然無籽檸檬及有籽檸檬光譜吸光度彙整圖

表七-1 不同種類蘋果汁光譜吸光度數據資料庫

蘋果種類	台灣蜜蘋果		美國富士蘋果		五爪蘋果		加拉蘋果	
	波谷 波長nm	吸光度	波峰 波長nm	吸光度	波峰 波長nm	吸光度	波峰 波長nm	吸光度
天然蘋果：化學蘋果 10：0	575	1.05	576	1.85	576	1.20	577	2.25
天然蘋果：化學蘋果 7：3	575	0.75	576	1.65	576	1.15	577	2.05
天然蘋果：化學蘋果 5：5	575	0.60	576	1.40	576	1.00	577	1.85
天然蘋果：化學蘋果 3：7	575	0.40	576	1.20	576	0.70	577	1.70
天然蘋果：化學蘋果 0：10	575	0.10	575	0.10	575	0.10	575	0.10

表七-2 不同種類檸檬汁光譜吸光度數據資料庫

檸檬種類	無籽檸檬		有籽檸檬	
	波峰 波長nm	吸光度	波峰 波長nm	吸光度
天然檸檬：化學檸檬 10：0	577	1.75	578	1.50
天然檸檬：化學檸檬 7：3	577	1.15	578	1.40
天然檸檬：化學檸檬 5：5	577	0.80	578	1.15
天然檸檬：化學檸檬 3：7	577	0.60	578	0.80
天然檸檬：化學檸檬 0：10	577	0.25	577	0.25

(一) 資料統整：

- 根據我們彙整的數據資料庫，只要製作簡易又便宜的光譜儀檢測蘋果汁及檸檬汁的光譜，對照資料庫數據，就能很容易判斷飲料中是否添加了化學成分。
- 在所有圖表裡都顯示了天然果汁吸光度皆比化學果汁高許多，化學果汁吸光度幾乎皆維持在0.4以下。此發現，提供了從吸光度數據，即可明顯輕易觀察出真假果汁純度判別的簡易性與準確性了。
- 此數據資料庫的建置是選擇各種果汁具有明顯波峰的波長位置，對照其吸光度所得，其中只有台灣蜜蘋果的吸光度很特殊，僅發現其明顯波谷，未發現其明顯波峰，因此台灣蜜蘋果的吸光度對照是取波谷位置所得。

伍、討論與建議

- 果汁離心完成後，小心不要搖晃到，用針管抽出中層的液態果汁，避免吸到上層的氣泡及下層的沉澱物質。
- 不同顏色的試樣溶液會吸收不同波長範圍的可見光，因此可選擇以可見光吸光測定法分析。
- 根據製作去除溶劑背景值之光譜比較結果及三種光譜儀對省電燈泡標準光譜儀的對照比較，我們建議：以手機光譜儀或光柵光譜儀進行檢測。
- 由於透射強度是相對單位，因此建議使用吸光度，做為絕對單位的比較分析，以避免不同實驗設定的差異。
- 鎢燈及鹵燈，發射光譜約在320-2500 nm；果汁的波長大部分集中在波長400~700 nm之間，且鎢絲燈泡為連續光譜，因此建議以鎢絲燈泡為光源即可。
- 為了避免按手機拍照時震動到手機，建議拍攝光譜時，用藍牙相機遙控器與手機連線拍照。
- 天然的純果汁很明顯地吸光度較高；而化學果汁，無論在任何波長，吸光度皆明顯偏低，幾近似吸光度0.4以下的一條水平線，極易比較觀察。因此，從觀察吸光度來判別比較果汁是否含有化學成分，是值得推薦的簡易方法。

陸、結論

- 由實際實測去除溶劑背景值之光譜比較結果可看出，三種光譜儀背景值影響度均很低，特別是手機光譜儀效果更佳，因此可忽略不用另計算背景值。
- 根據製作去除溶劑背景值之光譜比較結果及三種光譜儀對省電燈泡標準光譜儀的對照比較，手機光譜儀在二項評比的效果皆最佳，光柵光譜儀其次。因此本研究以手機光譜儀做為光譜檢測的工具。
- 由於透射強度是相對單位，在不同手機、環境，或是不同品牌燈泡下，會有不同結果，因此我們進一步使用吸光度，做為絕對單位的比較分析，避免不同實驗設定的差異。
- 所有不同濃度果汁的透射強度皆在波長400nm開始上升，並在波長475~515nm之間有一平穩的小高台，接著便開始下降；在525~575nm之間呈現較平穩波狀。在575nm~600nm左右，透射強度均突然上升許多，之後在625~675nm左右呈現平穩狀，有些微起伏，在675nm後，幾乎下降到最低點。
- 從所有果汁的吸光度圖皆能看到，果汁的濃度越高，吸光度越高，符合比爾朗博定律的吸光度公式。而透射強度圖則相反，果汁的濃度越高，透射強度反而越低。且各種果汁的吸光度在波長560~590nm之間，都有波峰出現。
- 純化學蘋果汁的透射強度最高，有加天然蘋果汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
- 食用化學蘋果汁的吸光度在波長575nm左右，有一明顯之波谷，吸光度幾近於零，其餘波長的吸光度也大約都平穩的在0.0~0.4之間，較無明顯高低變化，沒有波峰，呈現近似一條水平線。
- 根據吸光度比較圖，皆可看出天然蘋果汁也是濃度越高，吸光度越高，符合比爾朗博定律的吸光度公式。
- 化學檸檬汁的透射強度最高；有加天然檸檬汁的果汁透射強度都較低，只要添加比例越高，透射強度便越低。
- 根據所有吸光度圖，皆可看出無論是有籽及無籽純檸檬汁的吸光度皆比化學檸檬汁高許多，天然檸檬汁濃度越高，吸光度越高；加了越多化學檸檬汁，吸光度就越低，符合比爾朗博定律的吸光度公式，也印證了我們的預測。
- 食用化學檸檬汁無論在波長420~675 nm之間的任何一處，吸光度皆較其他檸檬汁低，吸光度皆低於0.4以下，沒有波峰，呈現近似一條水平線。因此，我們只要在波長475~525nm之間比較檸檬汁的吸光度，就可以明顯判斷果汁中是否含有化學成分了。

柒、參考資料

- 李匡邦、何東英、許東明[民86]。光譜化學分析：Spectrochemical analysis。臺北市：揚智文化。
- 陳錫疇(譯)[民66]。有機光譜分析(原作者：Dyer, John R.)。臺北市：科學圖書社。
- 光譜儀 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E8%B0%B1%E4%BB%AA>
- 吸光度 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%90%B8%E5%85%89%E5%BA%A6>