

第十六屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA16-446

作品名稱：

「天旋地轉」—自製旋光度計結合 Arduino
作業平台探討醣類水解速率

姓名：蔡旻峰

關鍵字：3D 列印、自製旋光度計、Arduino
作業平台

壹、研究動機

本研究在於運用隨手可得的日常生活材料，結合 3D 列印，偏振片、量角器為刻度盤、簡易 LED 光源，組裝成簡易又可靠的旋光度計。將其運用於觀察葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖、乳糖及市售蜂蜜等旋光度的不同，進一步地找出單一醣類溶液濃度與旋光度的關係及蔗糖經鹽酸水解時單位時間內旋光度的變化量，來探討蔗糖水解的反應速率。

除此以外，我們將自製旋光度計結合旋轉馬達、照度計及 Arduino 作業平台，做成攜帶型的旋光度儀。所得的實驗數據結果得知，高價位蜂蜜的旋光度與市售果糖幾乎相同；蔗糖經鹽酸水解後的旋光度明顯與未水解的蔗糖溶液旋光度不同且隨著水解的時間增長，旋光度也跟著出現變化。

在後續的研究中，我們繼續對於這台自製的旋光度計進行改良，以求盡善盡美。日後欲將本自製儀器加以推廣，應用於醫藥的旋光度測量、鑑定及對其他旋光性物質做詳細的性質探討。

貳、實驗目的

藉由本旋光度計檢測系統，希望能達成下列目的：

1. 運用隨手可得的日常用品結合 3D 列印，自行組裝簡易旋光度測定儀。
2. 利用此旋光儀可以鑑別醣類的種類。
3. 運用此旋光度計，觀察蔗糖水解時旋光度變化。
4. 對於單一醣類可以運用此旋光度計，找出旋光度與溶液濃度的關係。
5. 將自製旋光度計結合旋轉馬達、照度計及 Arduino 作業平台，做成攜帶型的旋光度儀，進行實驗研究及改良。

參、實驗原理

一般自然光束其電磁向量為不定向排列，稱其為非極化光(unpolarized light)；如果光只在單一平面上振動，其所成的波光，則稱為平面極化光(plane polarized light)。當平面極化光通過具有光學活性(optically active)的物質時，因此類的結構並不對稱（含不對稱之碳原子）；就可使平面極化光作定向的改變，藉極化平面光旋轉的方向的測定，即可鑑別具有光學活性的物質（定性）。

依照一般實驗結果有機分子可分為光學活性及光學不活性。光學活性物質能使平面偏極光產生旋轉，而光學不活性的物質則無此能力。

而測定的儀器即為旋光或偏光儀。偏光儀重要的組成原件如下圖 1 所示：

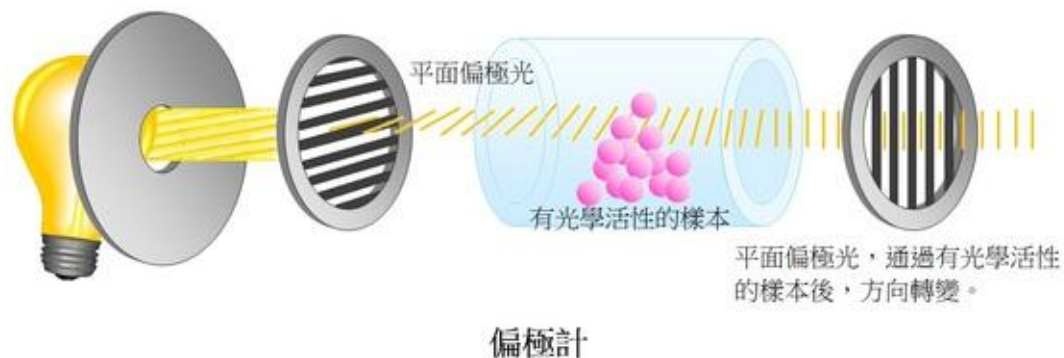


圖 1：偏光儀原理示意圖

鈉燈 → 偏極鏡 → 試樣管 → 分析用透鏡 → 目鏡

當平面極化光通過光學活性物質，使平面極化光作順時針旋轉的物質，稱為右旋物質，以“+”或 d 表示之。如果使平面極化光作逆時針旋轉的物質，稱為左旋物質，以“-”或 l 表示之。其所測得之旋光度可從刻度盤上讀出。

光學活性物的旋光度於測定時，常受波長、溫度、溶劑物質等因素之影響，所以測定的條件必須加以說明；如溫度 (t°C)，通常為 20°C，光源為鈉蒸氣燈 D 線 (D-line)，其波長 589.6Å，濃度 (C) 為 g/mL。

測試管長 (l) 單位為 dm 公分 (1dm=10cm)，就這些條件下單位濃度 (g/mL)，單位長度下，實際測得的旋光度 α ，就稱為比旋光度 (specific rotation)，而以符號 $[\alpha]_D^{20}$ 表示之，其關係是如下：

$$\alpha = [\alpha]_D^{20} l * C$$

旋光性物質	溶劑	溫度	$[\alpha]_D^{20}$
樟腦	醇	25	+43.8
蔗糖	水	20	+66.5
葡萄糖	水	20	+52.5
果糖	水	20	-93.0
麥芽糖	水	20	+136.9
乳糖	水	15	+56.0

$[\alpha]_D^{20} = \text{觀察旋光度 } \alpha / \text{測管長(dm)} * \text{溶液濃度 (g/ml)}$

表 1 溶液的比旋光度 $[\alpha]_D^{20}$

一、自製簡易旋光儀

1. 設計理念

- (1) 自行組裝可量測旋光性物質旋光度的簡易可靠的裝置。
- (2) 了解旋光度與溶液濃度的關係

(3) 利用蔗糖水解時旋光度變化測出水解速率，並討論蔗糖水解的影響因素。

2. 儀器各部份裝置介紹，如圖2所示：

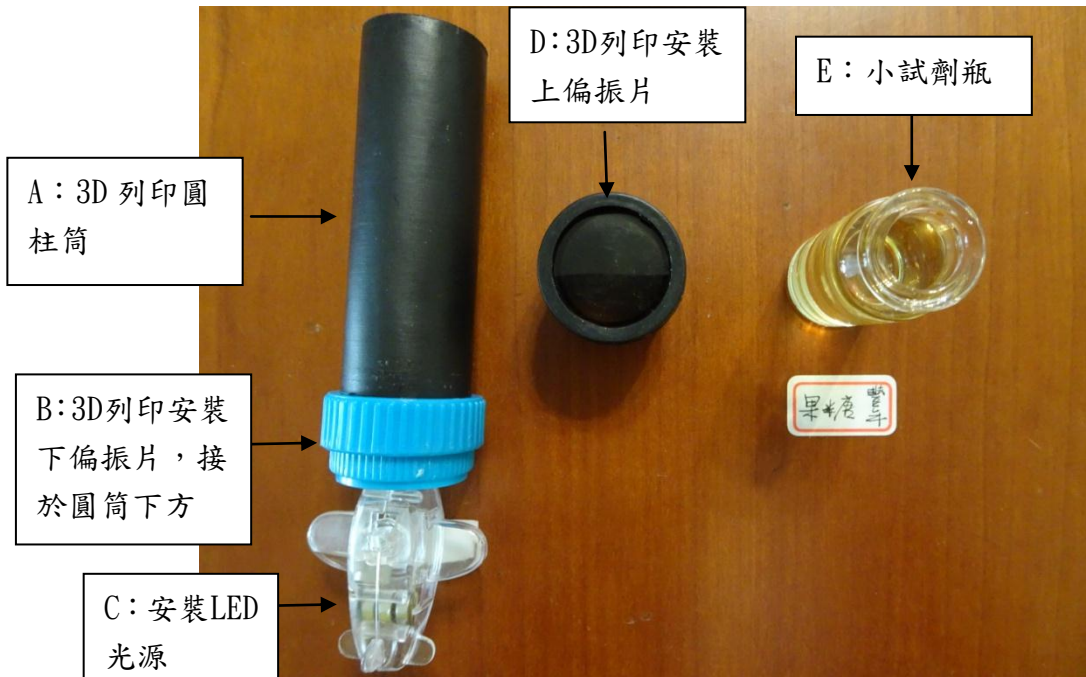


圖 2：自製旋光儀組裝圖

A：3D 列印圓柱筒，長度可以任意剪裁，下方可以安裝下偏振片，且於圓筒下方，內有保麗龍圈墊，避免放置平底試管時因撞擊或摩擦而損壞下偏振片。

B：3D 列印安裝下偏振片，接於圓筒下方另外接指針及360度刻度轉盤。

C：安裝LED光源或手機光源均可。

D：3D 列印安裝上偏振片，且為可旋轉的上方蓋。

E：裝試藥的小試劑瓶。

3. 自製偏光儀組裝完成圖，如圖 3 所示：



圖 3：自製旋光儀組裝完成

4. 自製旋光儀實驗過程

- (1) 以肉眼觀察光線強弱變化，找出光線最弱的點，此時的偏折角度即為光線偏折的角度。
- (2) 用平底試劑瓶裝蒸餾水，放入圓筒中，旋轉裝置有360度刻度的圓筒，直到光線最弱點，將該刻度訂為零度。
- (3) 將待測之溶液裝入平底試管中，放入自製偏光儀中，旋轉圓筒指針盤，直到光線最弱的位置，記錄其旋光角度。

5. 儀器測試結果

- (1) 市售豐年果糖透過自製旋光度計可以觀察出多種顏色變化，十分炫麗。
- (2) 一般的蜂蜜實驗結果，只有黃燈的明暗變化而已。
- (3) 手機的手電筒燈光很強，透過偏光鏡觀察時間一久，眼睛很容易疲倦，對強光的判斷力變差，產生的實驗誤差也會愈大。
- (4) 在上方的偏光鏡筒上加裝更精確的照度計，讀得測量過程中光線強度的微小變化，使測量更準確。
- (5) 進一步運用 Arduino 控制實驗裝置，將輸出之數值傳輸至電腦，可直接在電腦中進行計算、作圖及資料保存。

二、自造Arduino旋光儀—第一代

1. 設計理念

- (1) 在上方的偏光鏡筒上加裝更精確的照度計，讀得測量過程中光線強度的微小變化，使測量更準確。
- (2) 利用 Arduino 控制實驗裝置，並將輸出之數值傳輸至電腦，可直接在電腦中進行計算、作圖及資料保存。

2. 儀器各部份裝置介紹：

- (1) 馬達齒輪、照度計、光源控制及三色 LED 燈組裝，如圖 4 所示：

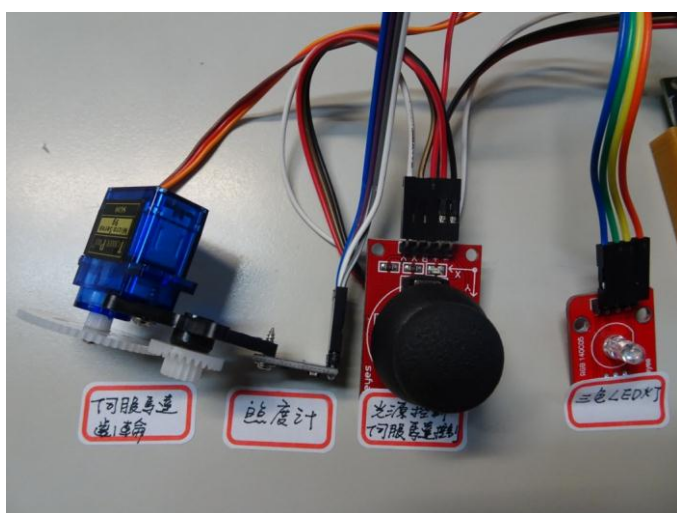


圖 4：自控裝置組裝

(2) 自製伺服馬達齒輪、偏光鏡及照度計組裝：如圖 5 所示

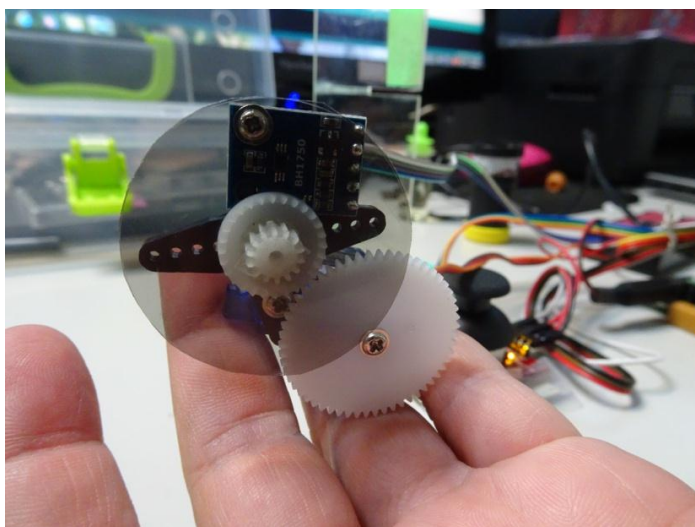


圖 5：旋轉馬達（伺服馬達帶動大齒輪 56 牙轉 180°，會帶動小齒輪 28 牙轉 360°）、偏光鏡及照度計

(3) 組裝完成圖，如圖 6 所示：

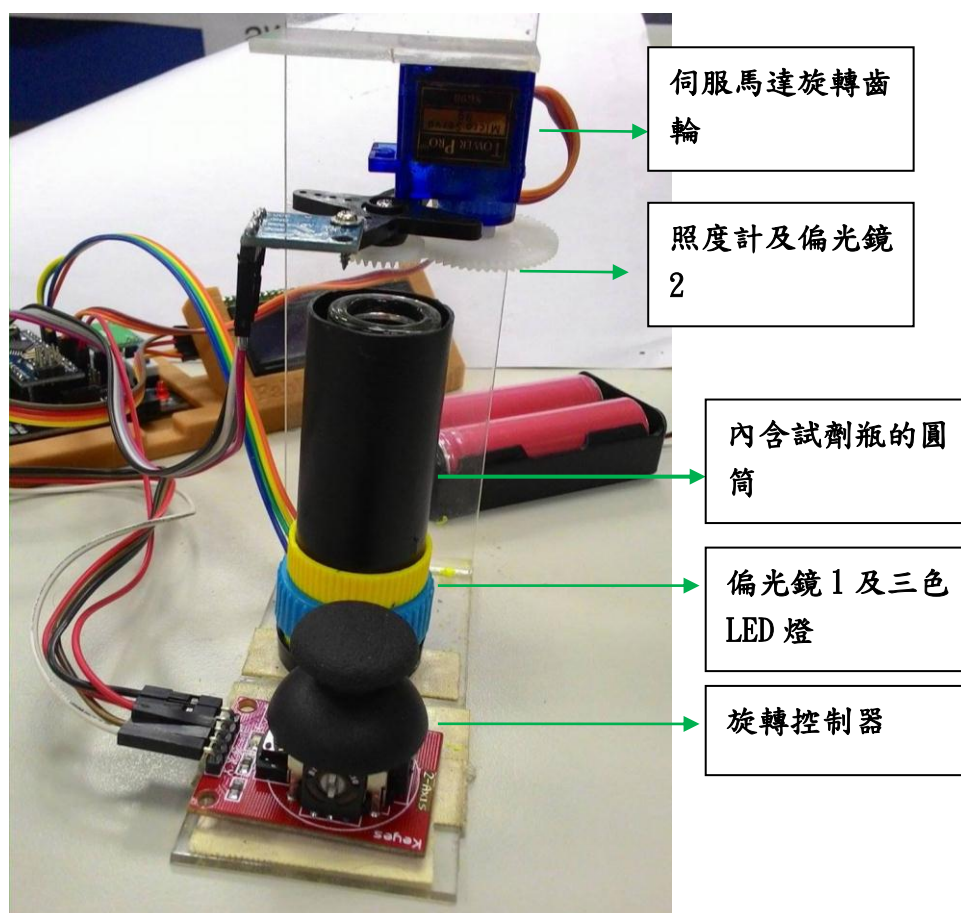


圖 6：自製旋光儀組裝圖

測試結果：三色紅藍綠 LED 燈光源太暗，且電池穩定度不佳，所以改成手機光源進行後續測試。

(4) Arduino 旋光儀組裝，如圖 7 所示：

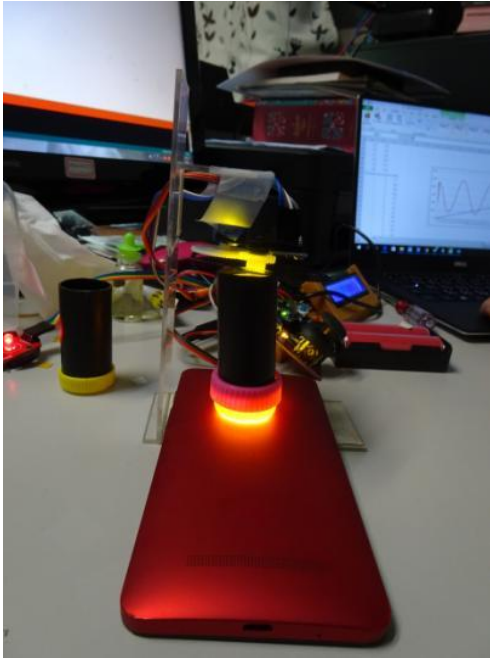


圖 7：自製旋光儀組裝圖

- (1) 自製旋光度計
- (2) 光源控制按鍵
- (3) 旋轉角度控制鈕
- (4) 照度感測計
- (5) Arduino 作業系統
- (6) 筆記型電腦

(5) Arduino 旋光儀實驗操作，如圖 8 所示：

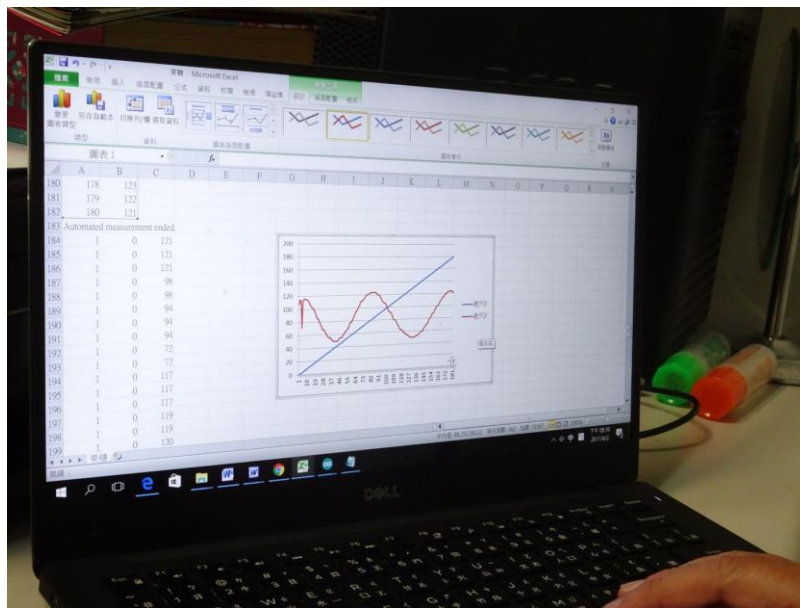


圖 8：自製 Arduino 旋光儀實驗操作

3. 儀器測試結果

(1) 自製旋光度計結合 Arduino 電路控制板，一開始出現組裝時光源不穩定、伺服器旋轉馬達難以控制及照度計無法有效偵測…等種種窘境，經過多次實驗測試，伺服器馬達終於可以控制成順時針方向旋轉，但是對於逆時針

方向仍無法做到。

- (2) 光源為自控紅藍綠 3 色 LED 燈，但實驗時發現三色 LED 光源不穩定，後來改用手机光源後才克服。
- (3) 實驗數據初步觀察結果得知，高價位蜂蜜的旋光度與市售果糖及高濃度蔗糖幾乎相同。
- (4) 蔗糖經鹽酸水解後的旋光度明顯與未水解的蔗糖溶液旋光度不同。
- (5) 隨著蔗糖水解的時間增長，旋光度也跟著出現變化，而且水解後蔗糖溶液變稀薄，所以照度增加。
- (6) 實驗中所使用的果糖是市售豐年果糖，成分為蔗糖水解後的果糖及葡萄糖混合物，應加以修正。
- (7) 應補做葡萄糖溶液檢測，實驗分析數據時會更精準且客觀。

二、自造Arduino旋光儀—第二代

1. 設計理念

- (1) 第一代的 Arduino 旋光儀的手機光源是近白光源，在測量醣類旋光度上較不準確，所以在第二代中仍採用紅藍綠三原光及紅光雷射作為光源。
- (2) 將照度計及光源改在上方的蓋子內，一體成型，避免外界光源干擾，如圖 9 所示。
- (3) 將齒輪旋轉馬達放在下方盒子內密封，如圖 10 所示。

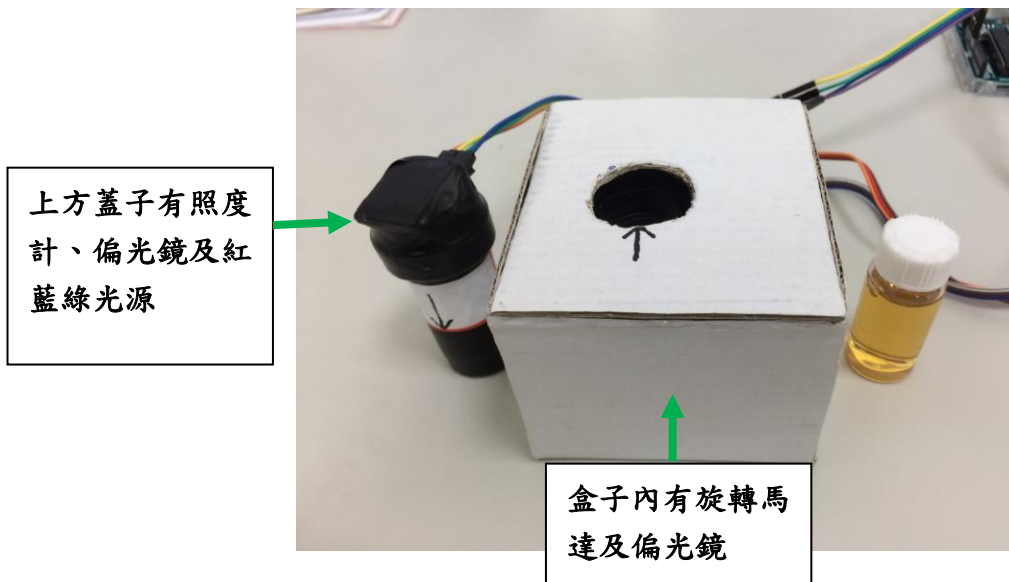


圖 9：自製旋光儀第二代設計

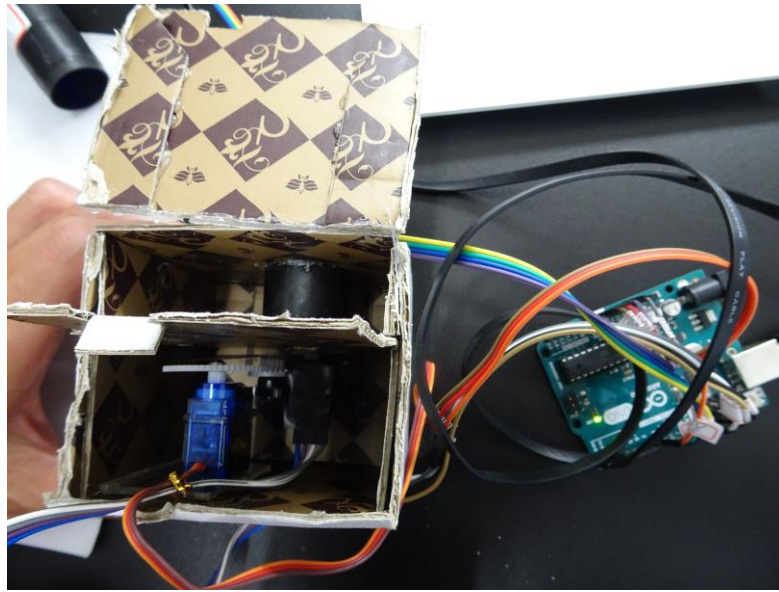


圖 10：自製 Arduino 旋光儀實驗操作，下方盒子內有伺服齒輪

(4) 因為偏振光電場穿透偏振片的比率為其夾角 $(\pi/2-\theta)$ 的投影量，即為 $\text{Cos}(\pi/2-\theta)$ ，而實際測量到的光強度則為電場的平方 $\text{Cos}^2(\pi/2-\theta)=\text{Sin}^2(\theta)$ ，如下圖。依照自製旋光度計的設計，偏振片在每次透光強度的測量時 θ 角會旋轉一圈，也就是 360 度，從三角函數關係式： $\text{Sin}(\pi/2-2\theta)=1-2\text{Sin}^2(\theta)$ 。因此透光強度測量的結果（二次正弦函數 $\text{Sin}^2(\theta)$ ）將會呈現出一次正弦函數 $\text{Sin}(\pi/2-2\theta)$ 的兩個週期。當我們用正弦函數來做實驗數據的曲線擬合時會對應到兩次的極大和極小值，如圖 11 所示。

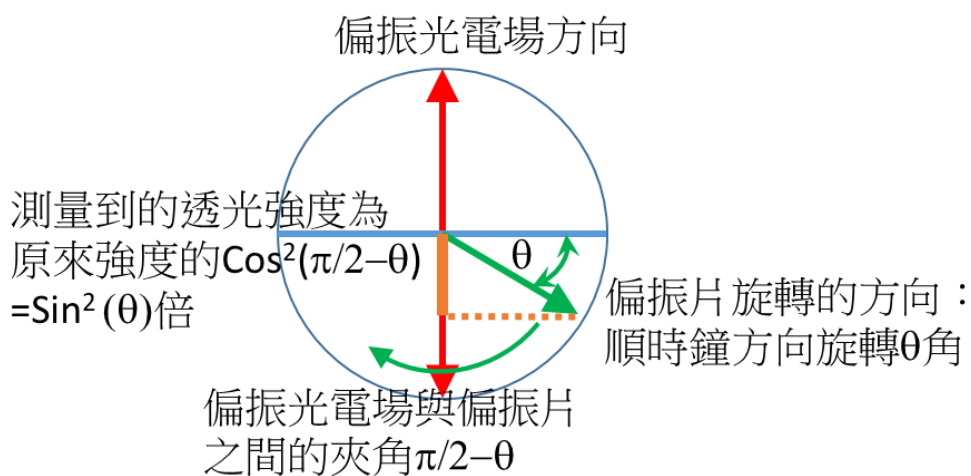


圖 11：實際測量到的光強度則為電場的平方
 $\text{Cos}^2(\pi/2-\theta)=\text{Sin}^2(\theta)$

當在兩個偏振片間放入具有旋光性的醴類溶液時，會造成偏振光電場方向的角度偏轉，此時測量透光強度的角度也會隨之旋轉，如下圖 12 所示：

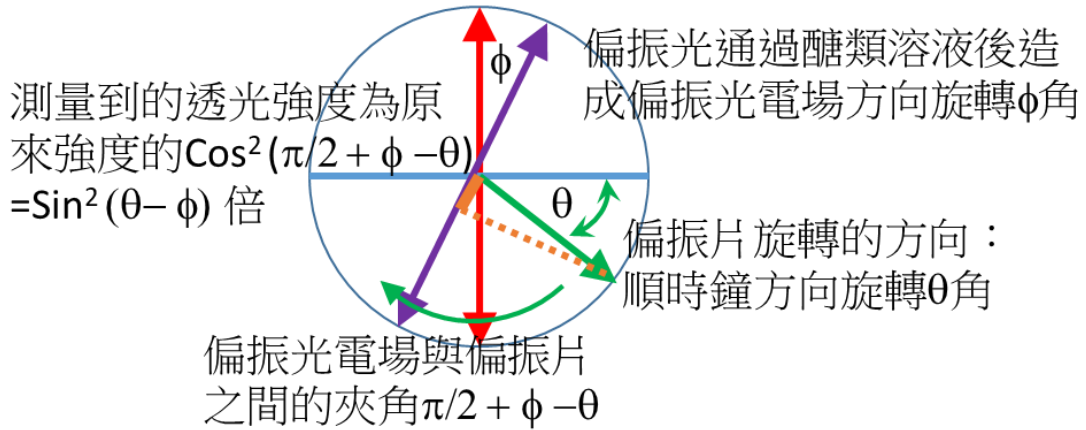


圖 12：兩個偏振片間放入具有旋光性的醴類溶液時，會造成偏振光電場方向的角度偏轉，此時測量透光強度的角度也會隨之旋轉

我們要做的就是找出不同醴類溶液造成偏振光相對於原本方向的偏轉角度 ϕ ，續而算出其旋光性。

我們將以 Arduino 控制的紅、綠、藍三色 LED 及紅光雷射經過上方的偏振片做為偏振光源，再經由伺服馬達來控制下方偏振片的旋轉角度。透過照度計來測量光強度，最後經由 Arduino 將角度值及對應的透光強度測量值傳送至電腦存檔，以進行後續的數據分析。

(5) 自造 Arduino 旋光儀第二代安裝過程

(a) 接線

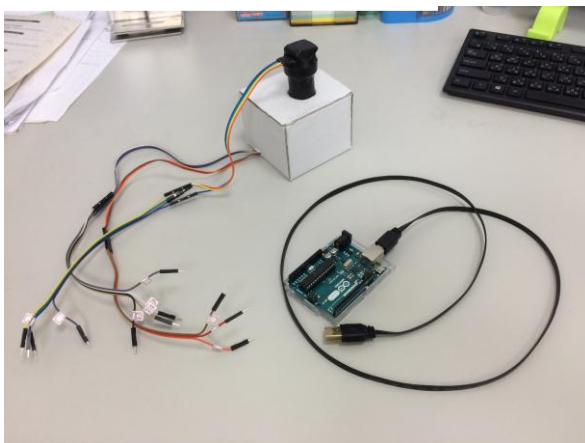


圖 13：自製旋光儀第二代設計

(b) 準備好 Arduino 的板子及 USB 線

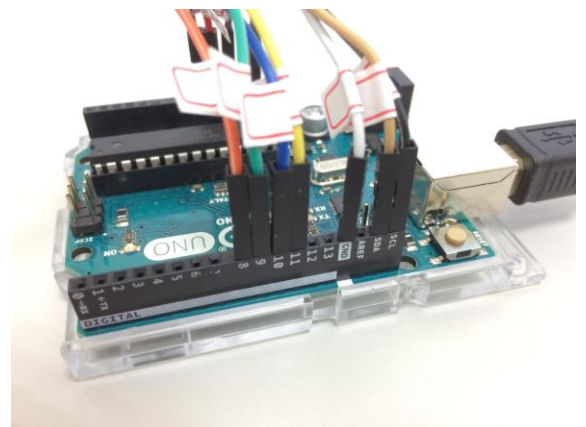


圖 14：按照標籤將杜邦接頭插入 Arduino 板子兩側的插孔

(c) 程式安裝

將 Sketch_jul06a (旋光度計的程式) 上傳至 Arduino 控制板。

BH1750-master.zip 是在程式執行前需先安裝在主程式中的程式庫，如下圖在主程式中“草稿碼”的選單選擇“匯入程式庫”的選單，在選單中選擇執行“加入.ZIP 程式庫”然後找到 BH1750-master.zip 所在的位置加以選擇就可以了。

Teraterm-4.95.exe 為一執行檔，可直接執行安裝。這個程式可以將旋光度計傳至電腦的資料存成文字檔”teraterm.log”，以供後續資料分析，如圖 15 所示。

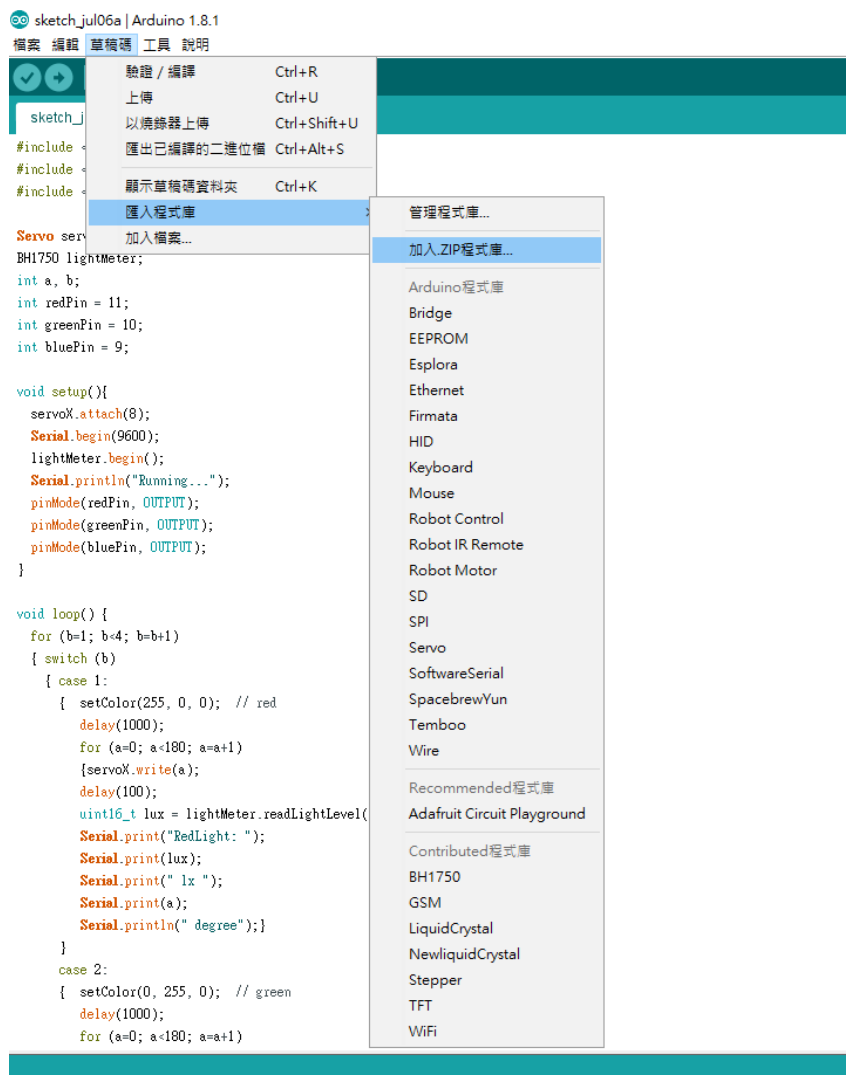


圖 15：在主程式中“草稿碼”的選單選擇“匯入程式庫”的選單

(d) 拿起 LED 燈，如圖 16 所示。

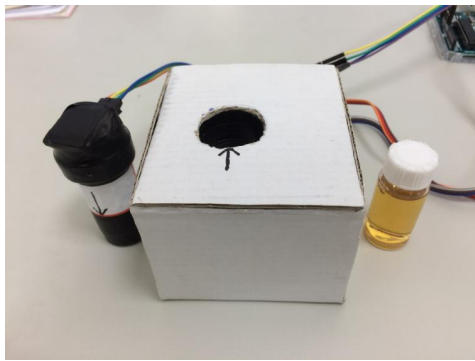


圖 16：拿起 LED 燈

(e) 將樣品瓶放入，放回 LED 燈即可，放置時箭頭應對齊以確定有相同的測量起始位置，如圖 17 及圖 18 所示。



圖 17：將樣品瓶放入



圖 18：放回 LED 燈

(f) 旋光度計使用方法

程式一旦成功上傳至 Arduino 的板子後，每次在使用旋光度計時就不再需要開啟此程式了。只要用 USB 連接線接上電腦，旋光度計就會開始工作。然後開啟 teraterm 的程式，資料即會自動存入設定的檔案中。Teraterm 為一個可從網路

下載的開放程式，使用方法可參考：

<http://coopermaa2nd.blogspot.tw/2012/01/arduino.html>

肆、實驗器材與試藥

一、器材

◎自製簡易偏光儀（3D 列印手動） 1 個		◎溫度計（100°C）	1 支
◎量筒 25mL 及 10mL	各 2 支	◎容量瓶（25mL）	3 個
◎吸量管（10 mL）	5~6 支	◎自製 Arduino 旋光儀	1 套
◎筆記型電腦	1 臺	◎數位相機	1 臺
◎自製 Arduino 旋光儀第一代		◎自製 Arduino 旋光儀第二代	

二、試藥

◎葡萄糖		◎半乳糖	
◎果糖		◎乳糖	
◎麥芽糖		◎蔗糖	
◎鹽酸 0.8M	10mL	◎鹽酸 0.1M	10mL

伍、實驗結果

一、自製簡易旋光計實驗觀察結果

1. 旋光度計測果糖、蜂蜜及高濃度蔗糖的觀察結果，如圖 19，20，21：



圖 19：果糖



圖 20：蜂蜜



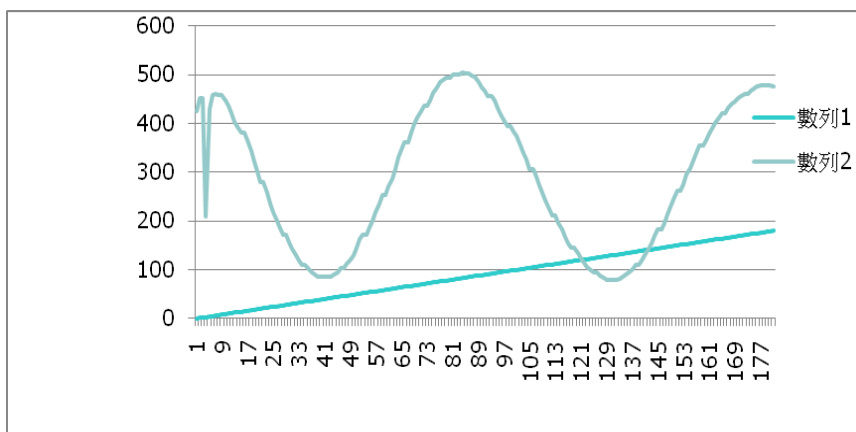
圖 21：高濃度蔗糖

糖種類	旋轉角 度 顏色	旋轉角 度 顏色	旋轉角 度 顏色	旋轉角 度 顏色	旋轉角 度 顏色	旋轉角 度 顏色
果糖	95° ◆藍色	100° 紫色	105° 紅色	120° 黃色	180° 強黃白	280° ◆藍色
	285° 紫色	290° 紅色	300° 黃色	0° 強黃白		
蜂蜜	110° ◆暗黃	180° 亮黃	290° ◆暗黃	0° 亮黃		
蔗糖	100° 紅色	105° ◆紫色	180° 亮黃	285° 藍色	290° ◆紫色	0° 亮黃
蔗糖水 解 5 分	65° ◆藍色	85° 紅色	70° 紫色	240° ◆藍色		
蔗糖水 解 10 分	70° ◆藍色	245° ◆藍色				

表 2 各種糖類隨著旋轉角度所觀察到的顏色變化

二、自造 Arduino 旋光儀第一代實驗觀察結果

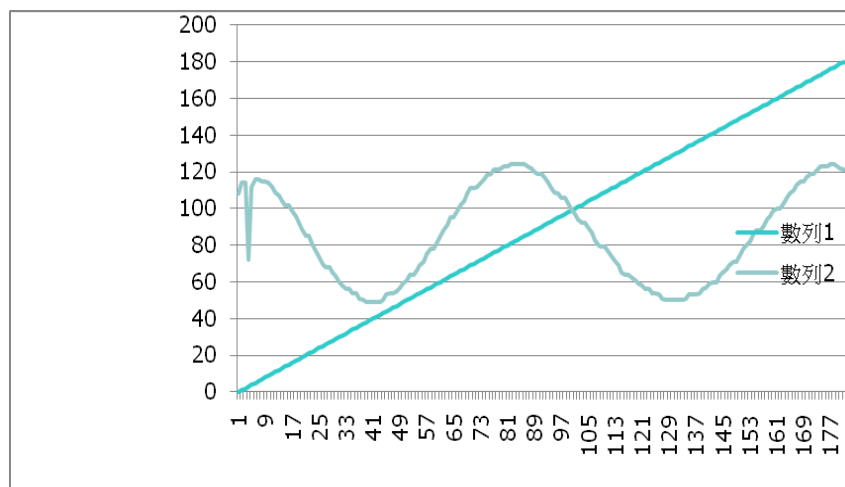
1. 對照組：水



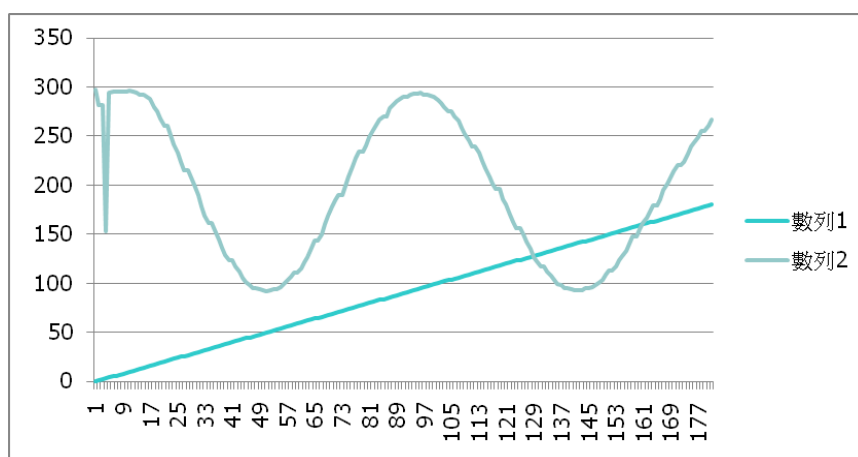
附註：橫坐標是齒輪實際旋轉角度 $\times 1/2$

縱坐標是照度

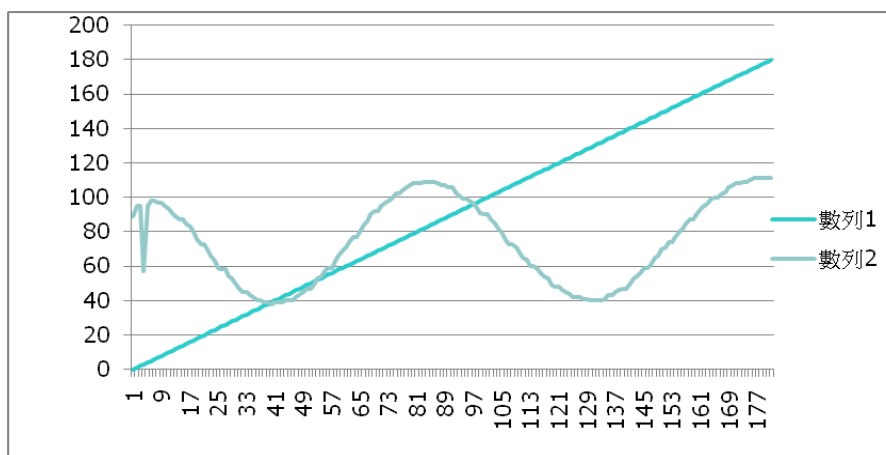
2. 實驗組：果糖



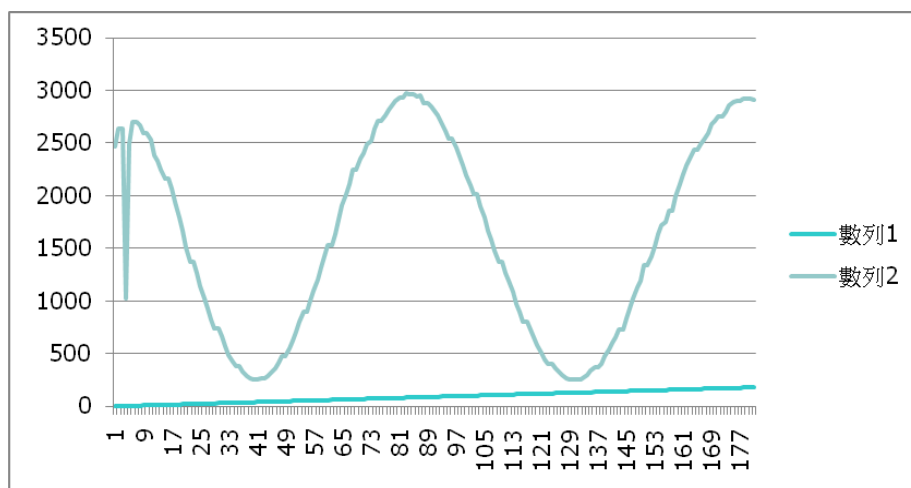
3. 實驗組：中等價位蜂蜜



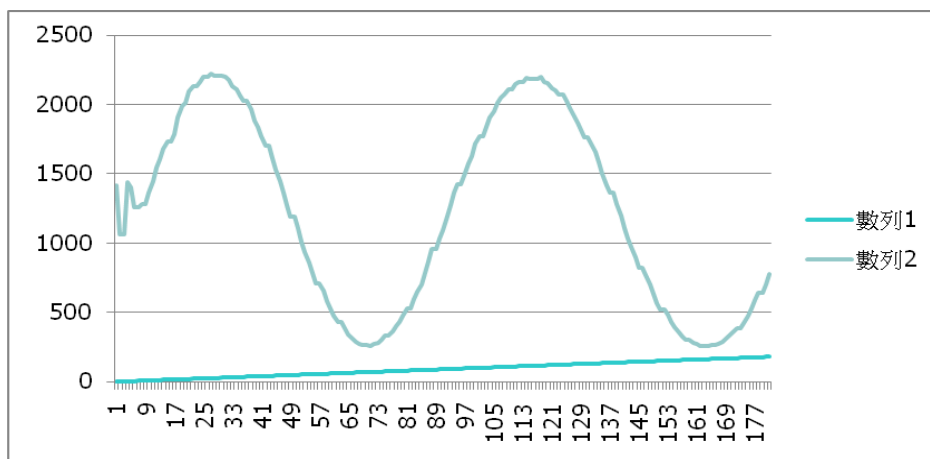
4. 實驗組：高價位蜂蜜



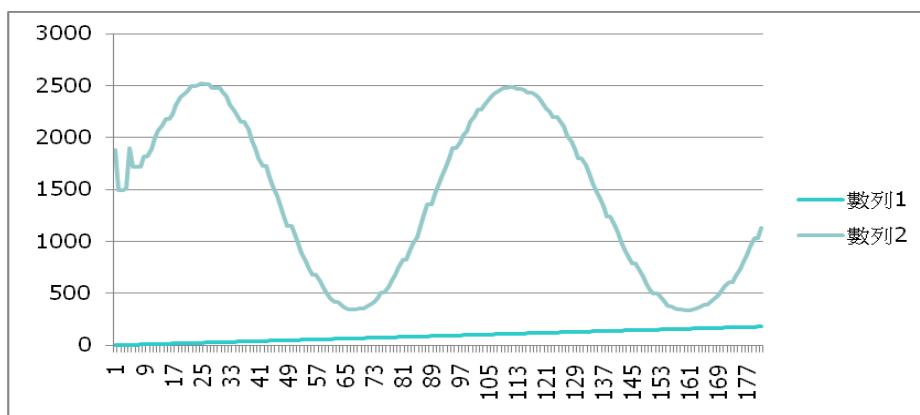
5. 實驗組：蔗糖



6. 蔗糖加入鹽酸水解 5 分鐘



7. 蔗糖加入鹽酸水解 10 分鐘



8. 實驗結果分析

糖種類	旋轉角度及照度		旋轉角度及照度	
	旋轉角度	照度	旋轉角度	照度
果糖	80°	49	262°	50
蔗糖	80°	254	260°	253
中低價蜂蜜	100°	92	280°	92
高價位蜂蜜	78°	38	260°	40
蔗糖酸解 5 分	140°	261	324°	255
蔗糖酸解 10 分	132°	342	318°	334

表 3 各種糖類在自造旋光儀旋轉 360 度時，所測得兩次照度最低時的角度

【註】1. 蔗糖溶液配製：2 克蔗糖加入蒸餾水 10mL。

2. 蔗糖酸解所使用的鹽酸是 0.1M 鹽酸 (HCl) 5 滴加入蔗糖溶液中。

3. 果糖是指市售豐年果糖。

4. 上表中各種糖類的照度測量值是自造旋光度儀旋轉 360 度時所出現的兩次照度最低的測量值。

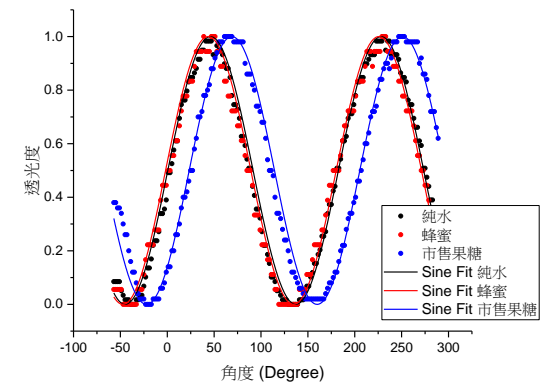
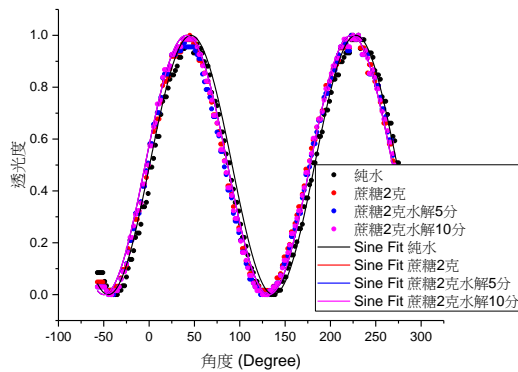
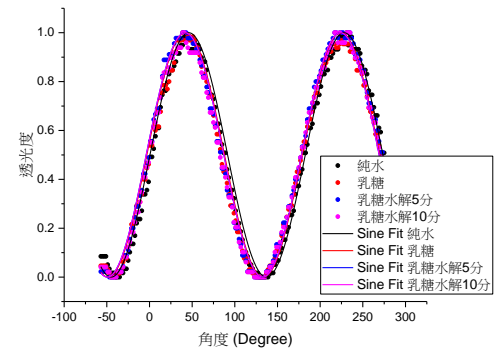
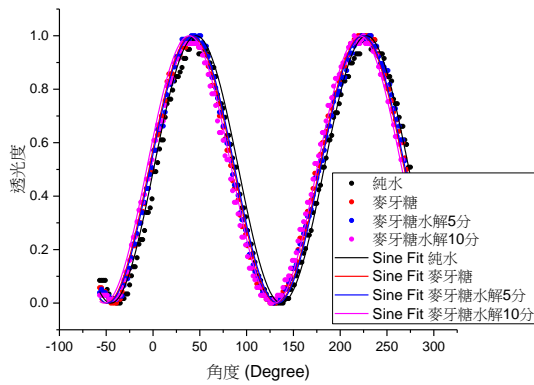
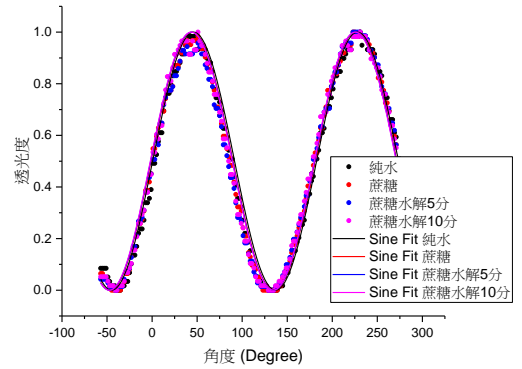
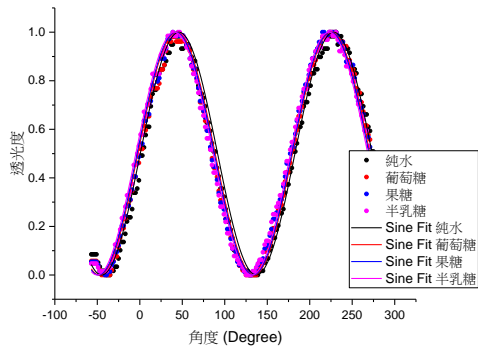
三、自造 Arduino 旋光儀第二代實驗測量結果

從實驗原理分析中得知相對於偏振片旋轉角度 θ 所測量到的光強度 $\sin^2(\theta)$ 正比於其兩倍角的正弦函數 $\sin(2\theta)$ 。

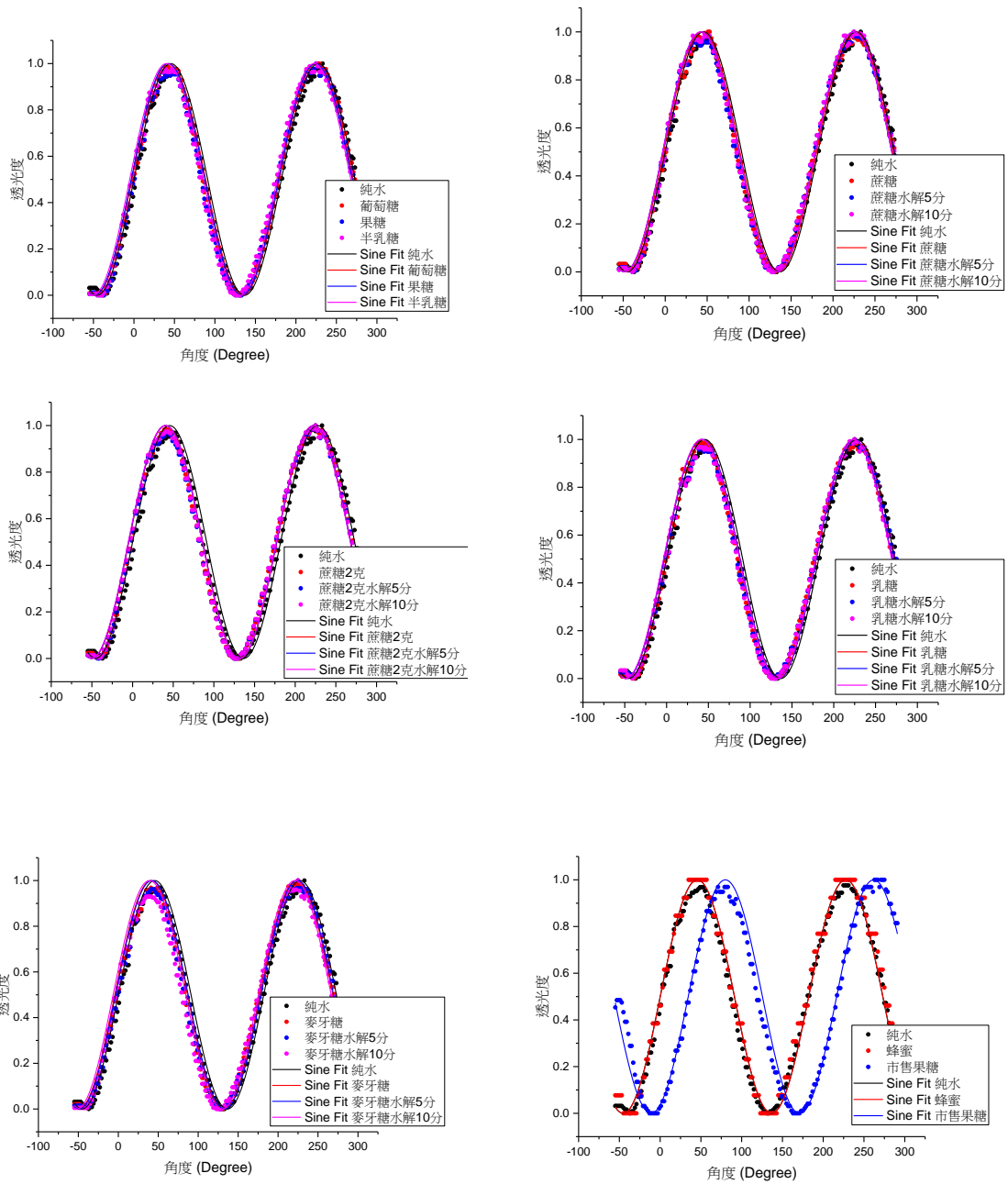
所以我們可用正弦函數， $y(\theta) = y_0 + A \sin(2(\theta - \phi))$ ，對實驗數據做曲線擬合。

y_0 是透光強度的參考值， A 是振幅對應到光度測量的最強與最弱之間的變化，在預先將數據做歸一化處理後，這兩個值都為 0.5。而 ϕ 值則是在進行曲線擬合時可調整的參數值，最佳的 ϕ 值會使正弦函數曲線與實驗數據點之間有最好的重疊狀態。而此 ϕ 值即為糖溶液改變偏振光方向的角度值。

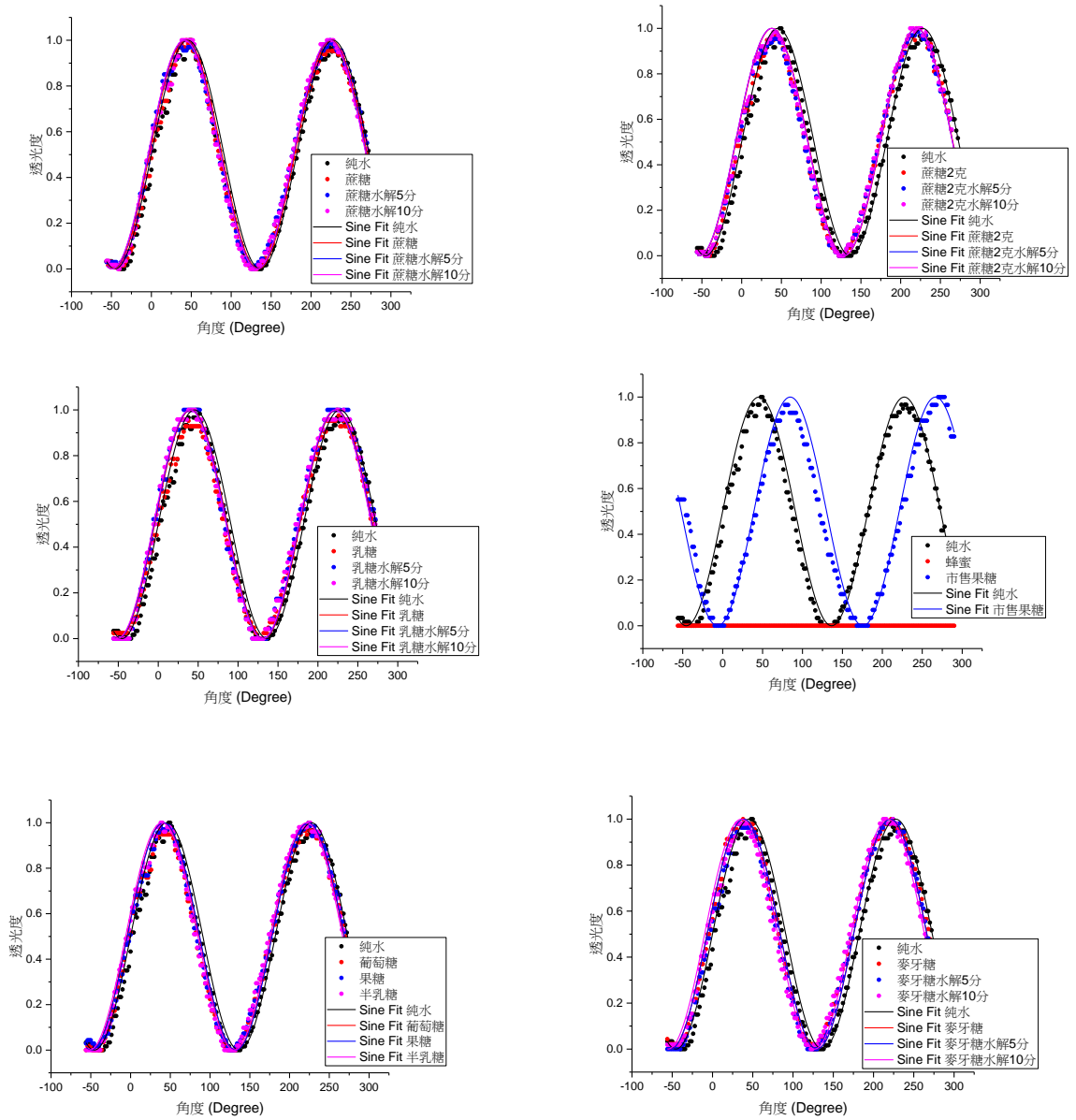
1. 紅光 LED 燈 (圓點為實驗測量數據，同色實線為所對應的正弦函數曲線)



2. 綠光 LED 燈 (圓點為實驗測量數據，同色實線為所對應的正弦函數曲線)

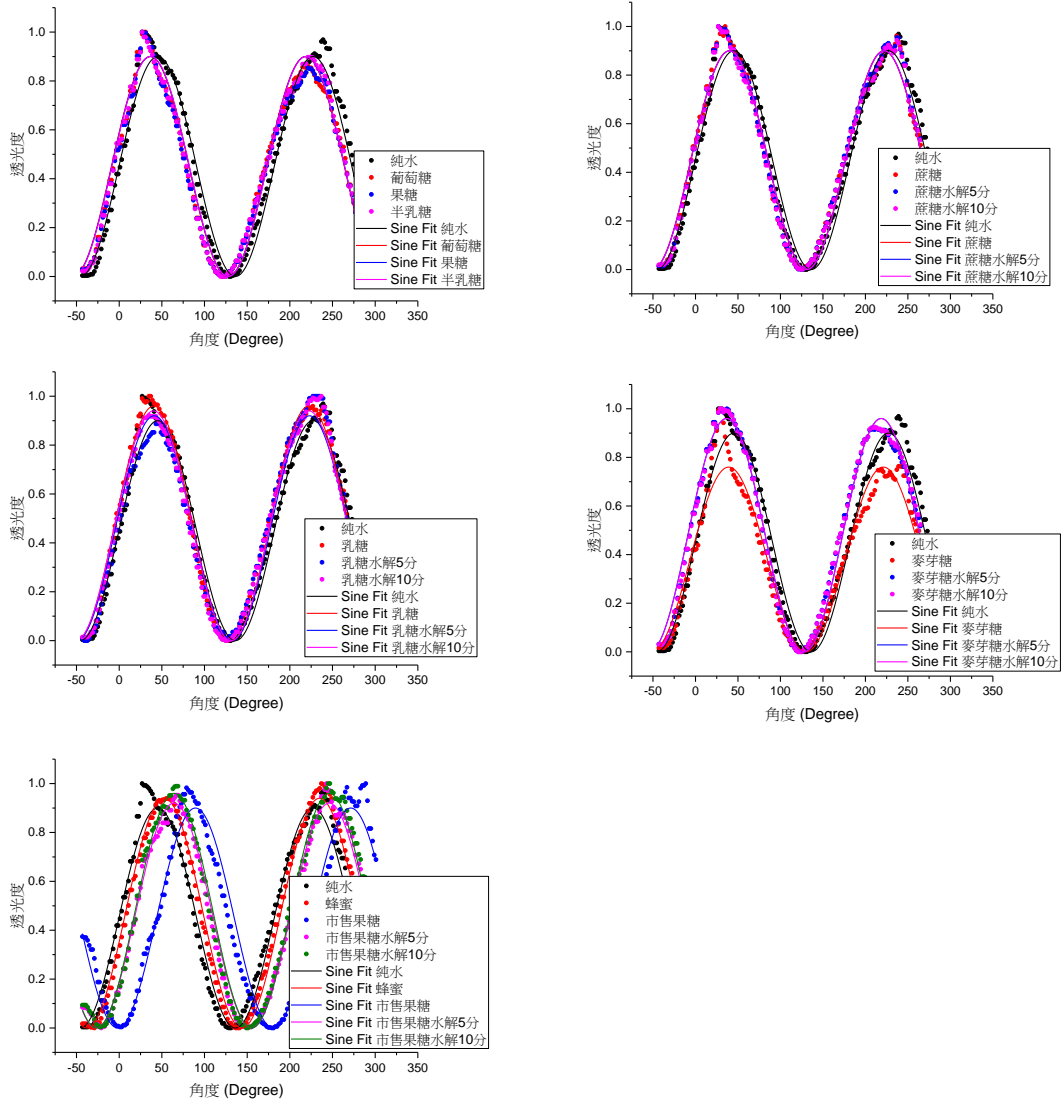


3. 藍光 LED 燈（圓點為實驗測量數據，同色實線為所對應的正弦函數曲線）



測量結果：藍色 LED 燈測試蜂蜜時無法測出照度變化，照度為 0。

4. 紅光雷射 (圓點為實驗測量數據，同色實線為所對應的正弦函數曲線)



5. 依實驗結果分析得到的旋轉角度 ϕ 值表

下表是以純水為參考，將純水的 ϕ 值歸零，所得各種糖溶液相對於純水的旋光角度值。

醣類 \ 角度	紅光 LED	綠光 LED	藍光 LED	紅光 LASER
葡萄糖	2.28	2.44	4.55	9.14
果糖	3.26	3.38	4.06	8.79
半乳糖	4.71	5.21	6.21	8.69
蔗糖	1.25	1.93	2.51	5.70
蔗糖水解 5 分	1.66	3.07	3.85	5.33
蔗糖水解 10 分	1.99	3.04	4.26	5.42
2 倍蔗糖	4.36	4.63	7.28	--
2 倍蔗糖水解 5 分	4.38	4.93	7.77	--
2 倍蔗糖水解 10 分	4.50	5.25	7.81	--
乳糖	3.09	3.11	4.46	4.94
乳糖水解 5 分	3.91	3.04	5.27	4.43
乳糖水解 10 分	3.86	3.65	5.96	5.27
麥芽糖	4.36	4.39	6.75	6.39
麥芽糖水解 5 分	3.34	3.50	6.73	8.96
麥芽糖水解 10 分	6.89	6.45	9.77	8.78
蜂蜜	1.81	-0.26	X	-7.35
市售果糖	-23.39	-34.45	-39.13	-43.86
市售果糖水解 5 分	--	--	--	-18.64
市售果糖水解 10 分	--	--	--	-18.78

表 4 各種糖類在第二代自造旋光儀所測量出的旋光角度值

【註】

1. 在做紅藍綠三色 LED 燈實驗時，各種糖類配製是各 1 克糖加水 10mL。
2. 2 倍蔗糖是指將蔗糖 2 克加水 10mL
3. 醣類水解是將鹽酸 0.8M，0.5mL 加入糖溶液中進行
4. 紅光雷射實驗時，各種醣類配製是各 2 克糖加水 10mL

陸、討論與結論

- 一、在實驗中我們採用了四種光源，分別是紅、綠、藍的 LED 光（放置醣類樣品瓶的黑色圓筒長均為 5 公分）及紅色雷射光（放置醣類樣品瓶的黑色圓筒長為 8 公分）。因為雷射光強度比 LED 強且準直性好，所以雷射光經過溶液瓶後照射到光度計的光較 LED 強且集中。
- 二、以實驗測量結果觀察，以 LED 為光源測量到最強的光度約為數百流明(Lx)，在測量較濃稠的蜂蜜液體時照度僅剩數個流明，甚至在使用藍光 LED 時光完全無法穿透。我們考慮到本實驗所使用的光度計測量範圍是 0 到 5 萬多流明。

- 若是使用強光雷射應該可以提高測量精確度及使醣類的照度對比度提高。
- 三、在自造第二代 Arduino 旋光儀實驗結果的作圖上，為了便於分析比較，我們將所有數據做歸一化處理，亦即將各種光源所測出的不同醣類溶液最大照度值皆當作 1，最小值設為 0，如此一來可以使所有測量到的光強弱變化都在數值 0 與 1 之間，易於相互比較。
 - 四、雷射光對於偏振片上一些定點小瑕疵特別敏感，例如偏振片上的折痕或是髒污，實驗結果會看到一些小雜訊。但因為我們實驗的設計上會使偏振片旋轉完整一圈，這些小峰值很容易可以排除。
 - 五、在比較不同顏色 LED 光源的結果，可以觀察出對於相同醣類溶液具有較短波長的藍光，其旋光作用較明顯。亦即這些糖溶液對於短波長的光所造成的偏振方向旋轉較大。
 - 六、我們將光源改為雷射光時，因為雷射光的照度強又集中，而且我們使用較長的樣品管，所以不用擔心測量到的光度太弱或強弱變化對比不足的問題。同時由實驗結果觀察，使用較長的樣品管，偏轉角度較多，此意味著即使使用濃度較低的溶液，我們依然可以輕易判讀出角度的變化值。
 - 七、本實驗中蔗糖水解過程未被測量出來，可能是所加入的鹽酸濃度 (0.8M) 太高，蔗糖水解速度太快，5 分鐘後蔗糖已經水解完畢，而我們測量時間是在 5 分鐘及 10 分鐘後，所以看不出照度上有明顯差異。
 - 八、我們運用 Arduino 來整合控制光源及旋光的測量與數據記錄，從實驗結果證實了自製旋光度計結合物聯網是一種很好的方式。

柒、未來應用及發展

- 一、自行製作的旋光度計，經過了多次改良修正，節省了需要購買昂貴旋光度計的經費，而且測量出來的數據可以馬上用電腦儲存做計算十分方便。
- 二、本實驗證明各種醣類的光學性質。
- 三、經由實驗與探索的過程，發揮科學研究的方法及動腦思考的樂趣。
- 四、在後續的研究中，將繼續對於這台自製的旋光度計進行改良，以求盡善盡美。
- 五、日後欲將本自製儀器加以推廣，應用於醫藥的旋光度測量、鑑定及對其他旋光性物質做詳細的性質探討。

捌、參考資料

- 一、有機天堂祕笈 I，克萊因著，天下出版社，2012 年出版
- 二、解開蔗糖水解的秘密，臺灣二 00 六年國際科學展覽會
- 三、遠哲科學教育基金會. 發現月刊第 57 期
- 四、高級中學物質科學化學篇(下)，龍騰文化事業公司主編. 民國 93 年 3 月出版