

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

080801

窮則「便」 「便」則通 小小創客 自製樂高手
機光譜儀及 Arduino RGB LED 光度計

學校名稱：臺北市立大學附設實驗國民小學

作者： 小六 張歲智	指導老師： 劉美君 施秋梅
---------------	---------------------

關鍵詞：手機光譜儀、光度計、S4A

摘要

為了解決妹妹在科展中，無法精確測定蝶豆花液濃度和抗氧化力的問題，因此想自製手機光譜儀及光度計。在製作簡易光譜儀的過程中，發現影響光譜清晰度的變因，因此設計實驗進行探究，經過三次改良後，製成設有試樣槽及手機支架的樂高手機光譜儀，能清楚拍攝到汞黃色雙線，且測出的蝶豆花吸收光譜波峰的位置，和國外研究報告相近。接著利用 RGB LED、Arduino 板、OP 放大器、樂高積木等材料，製成具有加蓋試樣槽的 SMD RGB LED 光度計，並利用圖像積木化的 S4A 程式，編寫內建波長換算 RGB 值公式的自動化控制介面，可自動測出最大吸收波長，測出的結果也和國外報告相近，進而編寫檢量線公式的自動化控制介面，可自動測出待測蝶豆花液濃度，測出的結果誤差值約 1-5%。

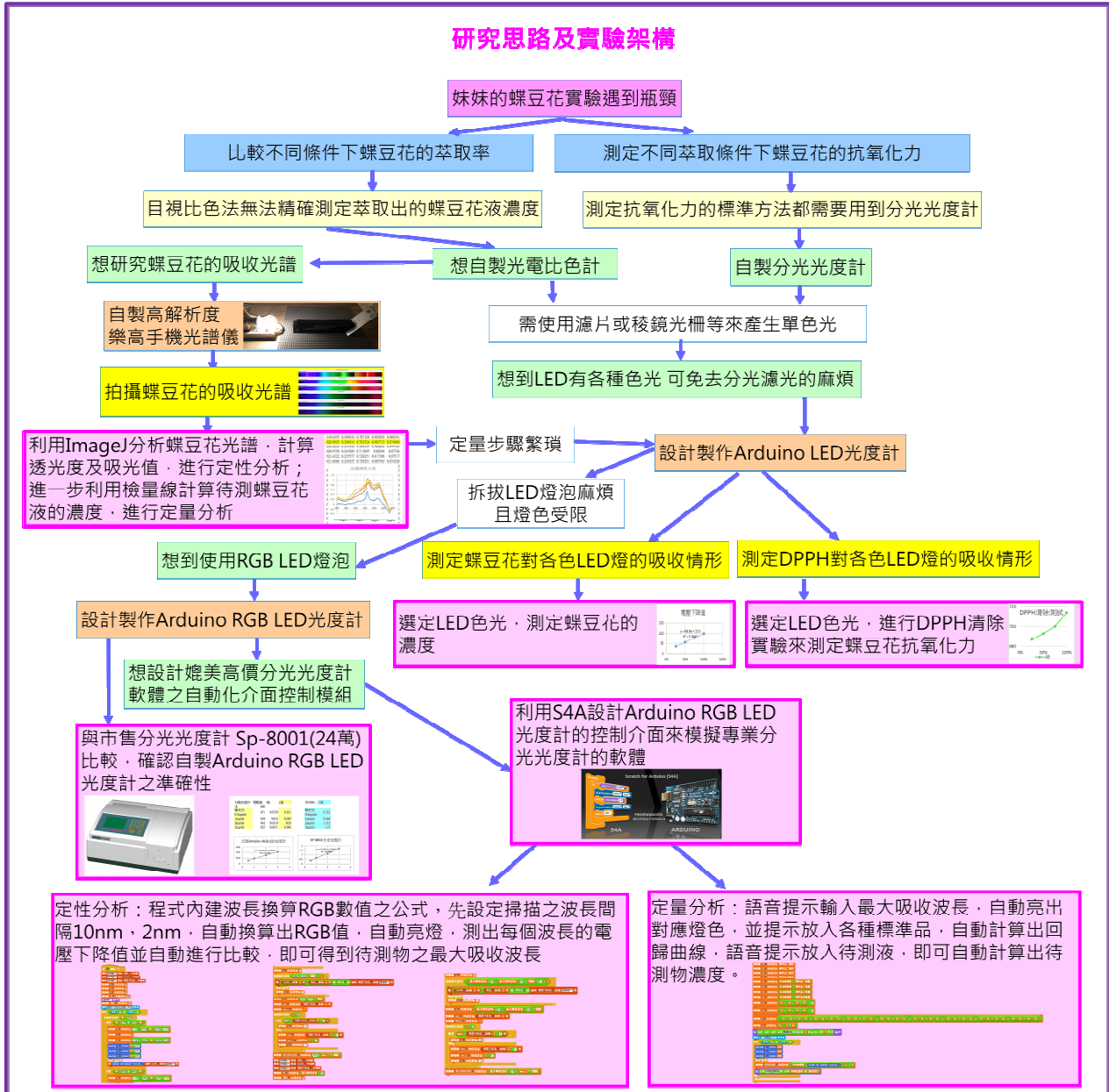
壹、研究動機

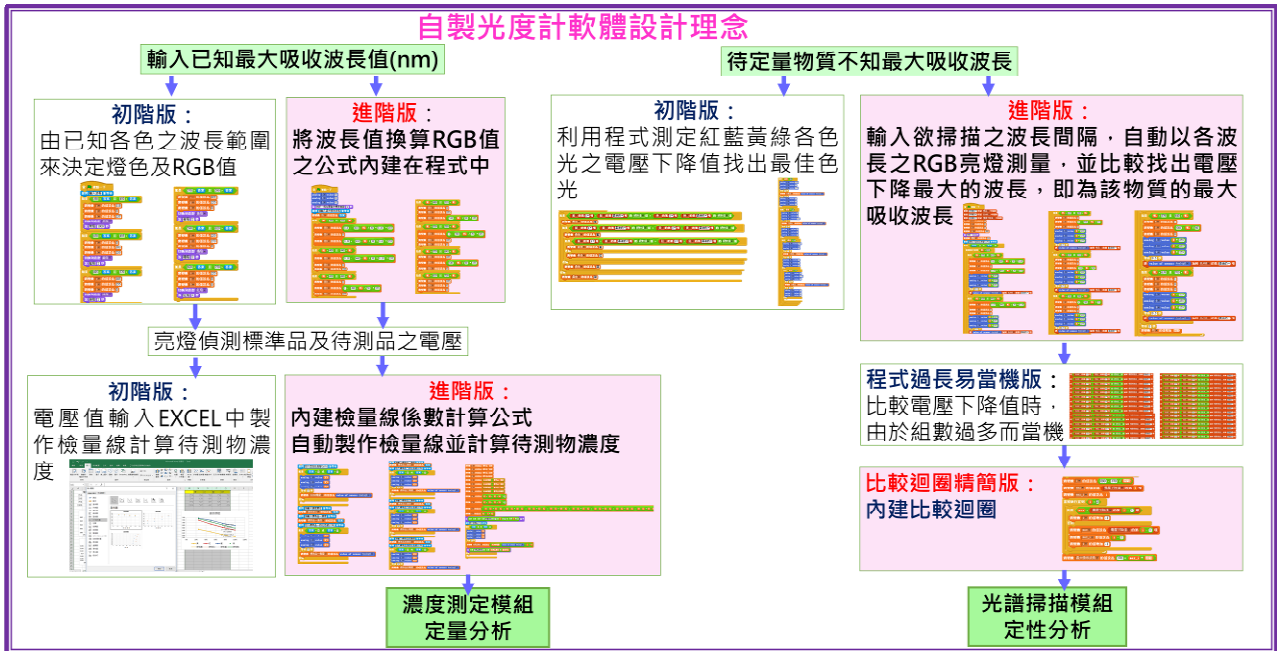
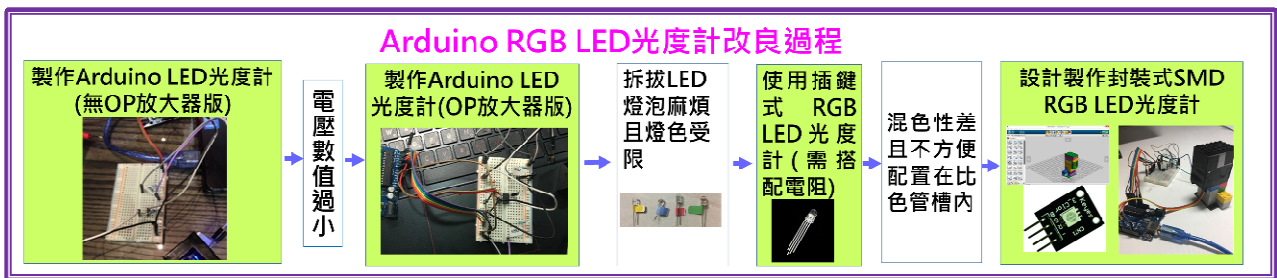
因為妹妹在進行蝶豆花生化特性及抗氧化力實驗時，用目視比色法無法準確測出濃度，並且在以碘滴定測定氧化力時，因為蝶豆花本身的藍色干擾終點判斷而影響實驗精確度，又沒有分光光度計無法利用 DPPH 自由基清除實驗得到抗氧化力的數值。我想到四年級時「光的特性」有學過光的組成及性質，以及光的行進方向；五年級「水溶液」有學過溶液的濃度的計算。因此突發奇想可以先自製手機光譜儀觀察蝶豆花的吸收波長，再透過自製 Arduino LED 光度計測定蝶豆花液濃度；進行 DPPH 自由基清除實驗，來測定蝶豆花的抗氧化力。我希望設計出的模組能讓更多國小同學在科展研究時，有更「便宜」且「方便」的選擇，不但可利用自製光譜儀進行物質吸收光譜的定性分析，更可利用自製光度計進行各種物質的定性與定量分析，如汙水重金屬檢測及吸附處理研究、食品藥品純度檢測及物質抗氧化力檢測。

貳、研究目的

- 一、研究簡易手機光譜儀。
- 二、設計製作高解析度 LEGO 光譜儀搭配 ImageJ 分析不同濃度蝶豆花吸收光譜
- 三、設計製作 Arduino LED 簡易光度計。
 - (一) 利用自製 Arduino LED 光度計測定蝶豆花液濃度。
 - (二) 利用自製 Arduino LED 光度計測定蝶豆花抗氧化力。
- 四、設計製作 Arduino RGB LED 光度計搭配 S4A 軟體編寫模組
 - (一) 利用自製 Arduino RGB LED 光度計配合 S4A 軟體編寫最大吸收波長掃描程式。
 - (二) 利用自製 Arduino RGB LED 光度計模擬專業分光光度計，並加入自動化檢量線濃度計算程式，直接計算出待測物濃度。

參、實驗架構





肆、研究設備及器材

筆記型電腦	紙卡模型	CD-R, DVD-R	黑色膠帶	蝶豆花液	乙醇
ShrapZ2 手機	雙面膠	Arduino uno	各種電阻	比色管	樂高積木
黑色美術紙	光電二極體	LED 燈泡	RGB LED	麵包板	杜邦線
運算放大器	DPPH 試藥	SP-8001 分光光度計			

伍、實驗過程、方法與結果

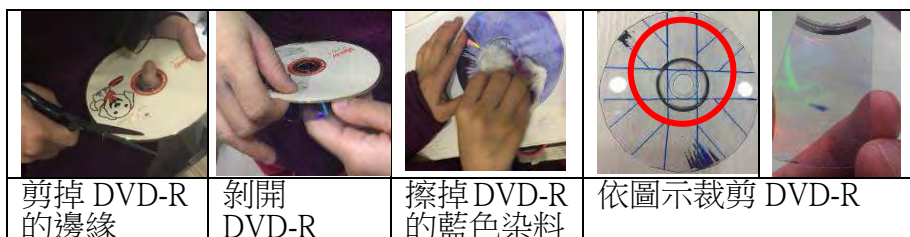
一、製作簡易手機光譜儀：

(一) 實驗構想：想利用簡易光譜儀來研究蝶豆花的吸收光譜，以決定用何種色光來測定吸光值以計算待測物濃度。


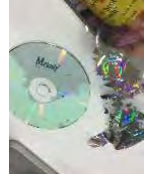


(二) 實驗步驟及結果：

1. 製作透射式簡易光譜儀所需之光柵：

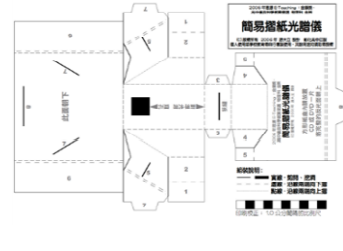
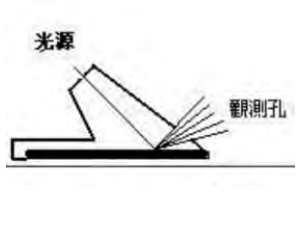
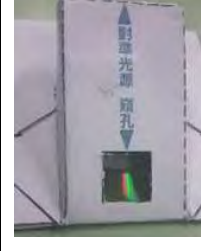
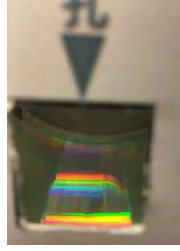
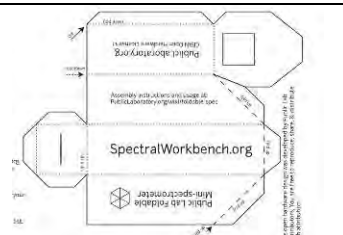


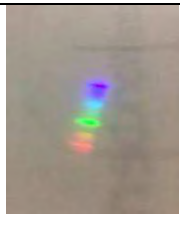
(1) 製作 DVD-R 繞射光柵



(2) 製作 CD-R 繞射光柵

			
找一片無用的 CD-R	剪去邊緣一小部分	用透明膠帶將上面的塗層黏除	剪下適當區域備用


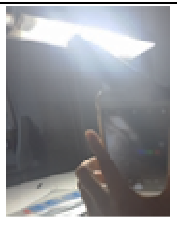

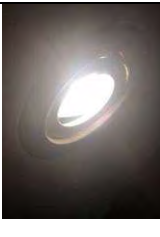

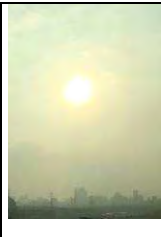


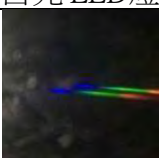
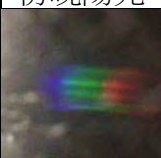
2. 製作簡易摺紙式光譜儀

反射式簡易光譜儀				
透射式簡易光譜儀				

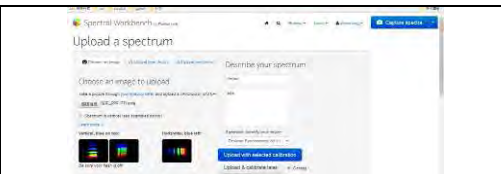
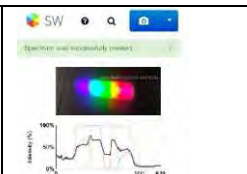


3. 自製第一代超簡易手機光譜儀

直接黏上 DVD-R 光柵片即可，不影響照相		優點：方便抓取拍攝角度，可當鏡頭保護片 缺點：背景雜亂功能，光柵易髒而失效
------------------------	---	--

4. 自製第二代長筒式手機光譜儀

					
加上黑色紙捲筒，並測試角度 優點：背景為黑色，不會影響分析結果 缺點：結構不堅固，容易壞掉	鎢絲燈泡	黃光投射燈	白光 LED 燈	傍晚陽光	
					

5. 光譜分析：使用公共實驗室的光譜工作檯分析照到的光譜：

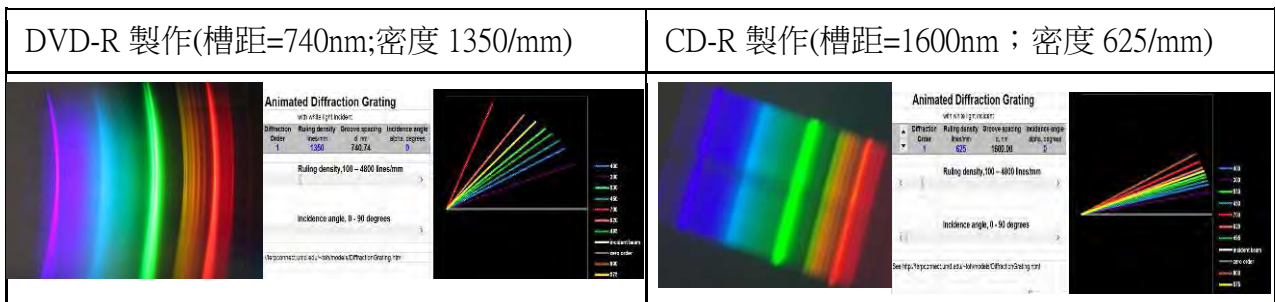
			
可接拍攝照片分析或上傳照片分析	鎢絲燈泡	黃光投射燈	蝶豆花液

(三) 討論：

1. 實驗結果發現，光譜儀本體的顏色以黑色為佳，光譜對比度較佳。
2. 在自製簡易手機光譜儀過程中發現以下問題：
 - (1) 自製簡易手機光譜儀之光譜很狹窄，各色光有互相重疊的情況，與前面的摺紙光譜儀觀察到的較寬的光譜不同，是否是狹縫方向問題？
 - (2) 為何有時會看到多組光譜？
 - (3) 網路上的摺紙光譜儀的角度設計有何意義？
 - (4) 黑紙捲筒與鏡頭光柵的角度會影響光譜出現在視野中的位置及觀看的舒適度，光譜儀本體角度到底應如何設計？
3. 為了研究這些影響光譜清晰度的變因，因此決定設計實驗進行探究。

二、 探討製作良好光譜儀的影響變因

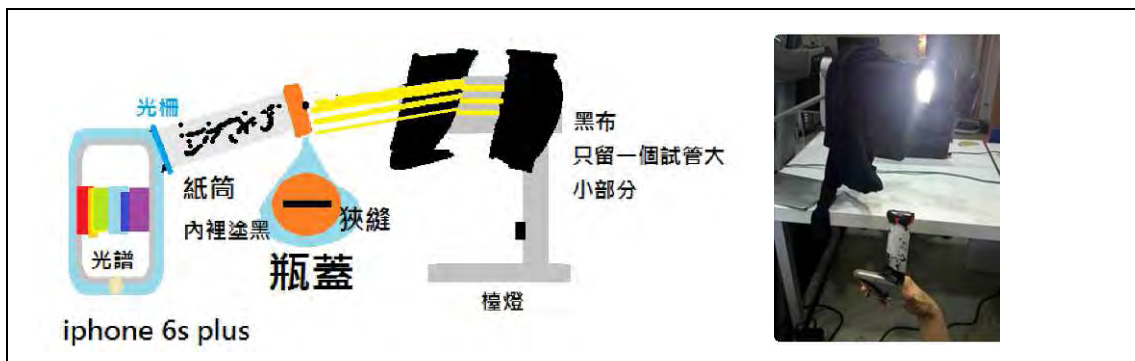
(一) 比較以 DVD-R 及 CD-R 製作光柵效果：



討論：由公式 $m\lambda = d\sin\theta$ 可知， d 和 $\sin\theta$ 成反比，因 CD-R 凹槽間距較大(d 較大)，導致 $\sin\theta$ 較小，光譜距離較密，譜線解析度比較低，以 DVD-R 製作則光譜解析度較高。

(二) 探討不同狹縫方向的光譜清晰度

1. 實驗構想：前面的實驗發現狹縫的方向與光譜的寬度有關
2. 實驗方法及結果：**自製可轉動狹縫式光譜儀**；將狹縫製作在瓶蓋上，轉動瓶蓋改變狹縫方向，光柵使用 CD-R 製作
 - (1) 觀察檯燈的省電燈泡光譜



方向	光柵和狹縫平行	光柵和狹縫垂直	光柵和狹縫成 45 度角	
光譜				
狹縫				

結論：狹縫與光柵方向平行時效果最好

(2) 將裝有蝶豆花液的試管放在光源前，觀察蝶豆花液吸收光譜

可轉動狹縫光譜儀觀察蝶豆花液吸收光譜

蝶豆花液
光柵
紙筒
內裡塗黑
狹縫
瓶蓋
檯燈
黑布
只留一個試管大小部分
iPhone 6s plus


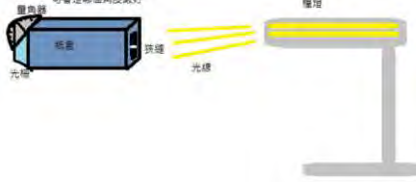


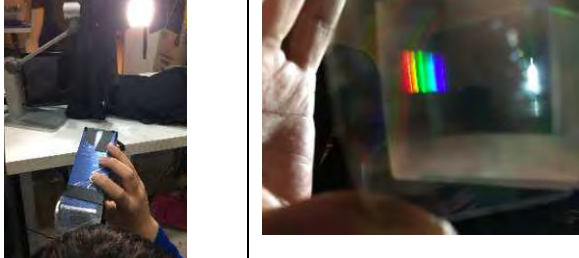
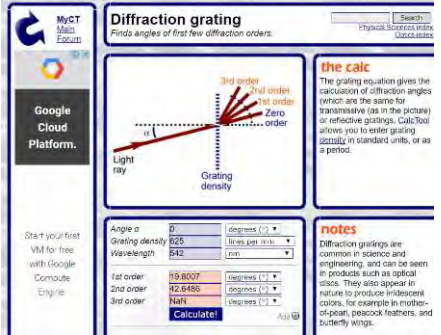

(3) 拍攝蝶豆花的吸收光譜並利用 SpectraSnapp app 進行光譜後製及比對

先找到 SpectraSnapp app	SpectraSnapp app 功能表	拍出光譜或載入照片	可以編輯照片、換照片長寬、裁剪	比對光譜相似度	指引到公共實驗室網站分析
	沒加蝶豆花液的省電燈泡光譜		被蝶豆花液吸收後的省電燈泡光譜		
比對光譜相似度					可發現橘光及黃光處被吸收


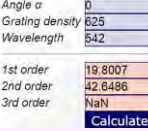
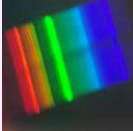

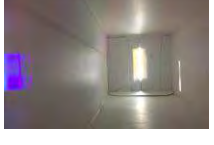

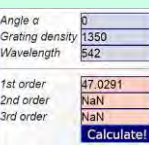
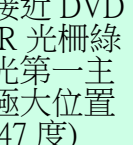
結論：可發現蝶豆花的吸收光譜中，橘光及黃光處被吸收。

(三) 比較不同狹縫與光柵法線夾角的對光譜清晰度之影響：

1. 實驗構想：觀察到各種簡易光譜儀，有的是狹縫與光柵平行，有的則有角度設計，想研究何種設計為最佳
2. 實驗方法：製作夾角可調式紙盒光譜儀

可調式紙盒光譜儀做法	可調式紙盒光譜儀角度示意圖
(1) 找一個長方體的紙盒 (2) 將一邊挖一個狹縫 (3) 另一邊黏一片 CD-R 光柵 (4) 紙盒上方黏量角器 (5) 對準檯燈省電燈泡光源進行測量	
	
	
<p>繞射角度計算網站：可輸入波長、入射角、光柵密度來計算各階繞射角</p> 	<p>CD-R 光柵密度 625mm，省電燈泡綠光波峰 542.5nm，帶入公式算出第一組極大 19.8 度。</p> 

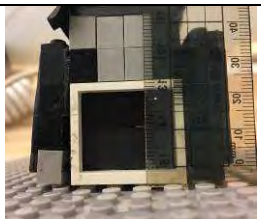
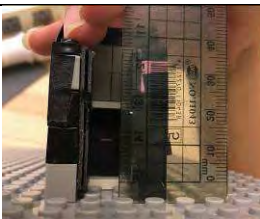
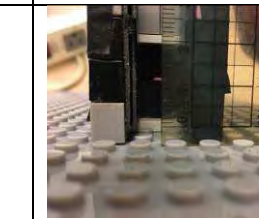



3. 實驗結果

夾角	0 度：觀察拍攝不便	20 度	30 度	45 度
CD 光譜			 <p>接近 CD-R 光柵分光後綠光第一主極大位置(19.8 度)</p>	
夾角	0 度(不易觀察)	20 度	45 度	60 度
DVD 光譜				 <p>接近 DVD-R 光柵綠光第一主極大位置(47 度)</p>

4. 討論：以 DVD-R 製作的光譜儀，狹縫與光柵法線夾角以 45 度為最佳。

(四) 探討狹縫寬度對光譜清晰度的影響

1. 實驗方法：調整黑色美術紙之距離來測試不同狹縫寬度

狹縫寬度	0.5cm	0.8cm	1cm
狹縫照片			
光譜			
光譜情況	有清楚汞黃色雙線，但光譜較暗	黃色雙線有點模糊	黃色雙線糊在一起了

2. 結論：狹縫愈窄解析度愈高，但是光譜會比較暗，0.5mm 是不錯的選擇。

三、自製樂高桌上型手機光譜儀

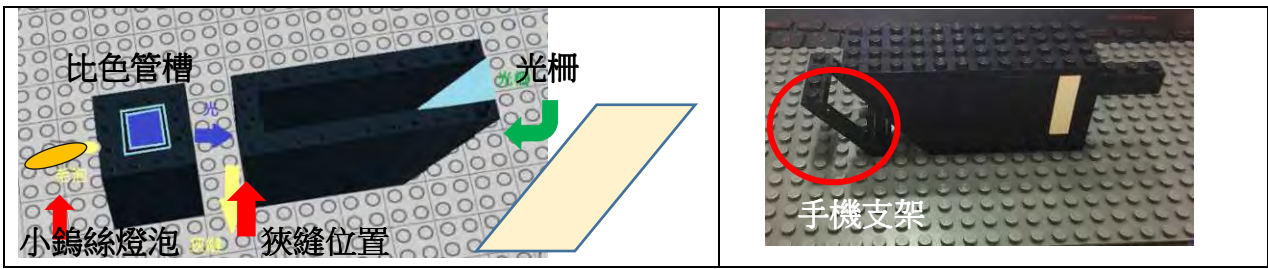
(一) 實驗構想：

1. 根據實驗結果，光柵使用 DVD-R 製作，光譜解析度較高。
2. 狹縫選擇 0.5mm，光譜解析度較高。
3. 若能設計成固定式桌上型，並加上比色管槽的設計，就可以觀察溶液的吸收光譜。
4. 若能進一步比較不同濃度溶液的吸收光譜圖並計算吸光度，便可計算出待測液濃度。
5. 光源需使用連續光譜的光源，例如鎢絲燈泡。
6. 想利用有孔樂高積木製作比色槽，一端插入鎢絲燈泡作為光源，光線經過比色槽的溶液後，吸收掉部分光線，再經過狹縫到達光柵，分光後觀察。

(二) 實驗過程：

利用 LEGO digital designer 繪製積木圖及設計圖

 <p>畫出樂高版分光光度計和檢測管槽的設計圖</p>	 <p>輸出 excel 材料表，照圖表準備積木</p>
--	--



(三) 遭遇問題與解決方法：

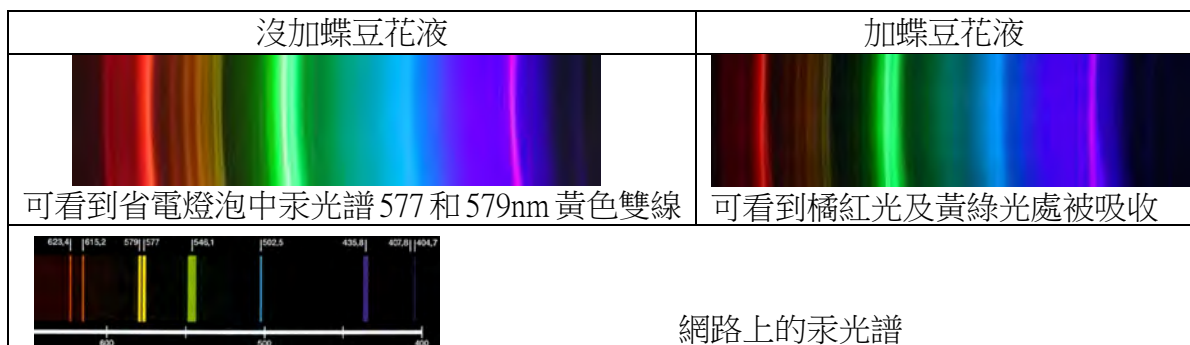
很難找到小的鎢絲燈泡塞入積木 解決方法：到光華商場附近的電子用品店找到小鎢絲燈泡，又稱毛泡(3mm-5mm)	毛泡太過耗電且亮度不足： 解決方法：改變比色槽設計，並將燈源改為座式 100W 鎢絲燈泡	樂高積木會反光干擾，積木縫隙會漏光，干擾光譜觀察 解決方法：內側貼上黑色絨毛貼紙	比色管兩側管壁處
觀測舒適度不佳且拍攝對焦不易： 解決方法：去二手積木行多買了一些積木，加長光柵和狹縫的距離至 明視距離 25cm ，因光譜儀長度需要超過明視距離（約 25 公分），人眼才能清楚聚焦、舒適觀察光譜細節			

(四) 實驗結果：

1. 改良版自製樂高桌上型手機光譜儀

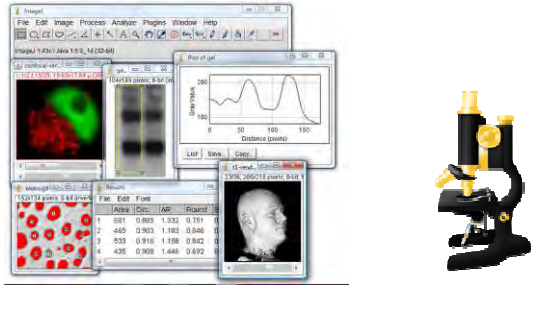
DVD-R 光柵分光後綠色光第一主極大的位置是 47 度 ，所以本體之夾角 43 度 為最佳。光柵黏貼面是用多個 45 度 倒反斜面磚製作，非常接近 43 度	用黑色美術紙製作狹縫，寬度大約 0.5mm	光柵黏貼處	比色管槽

2. 用 canon500D 拍攝省電燈泡，得到非常清晰的光譜




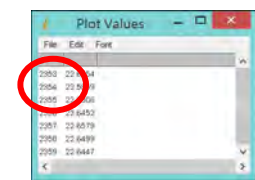
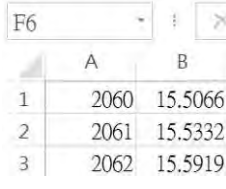
四、用 ImageJ 分析蝶豆花吸收光譜：

(一) 什麼是 ImageJ：

<p>ImageJ 是一個美國國家衛生院 (NIH) 所發展的公共圖像處理軟體，因為它是架構在 Java 平台上，所以可以跨平台執行，特色是免費、開放原始碼、強大社群支持、處理速度快，能夠顯示、編輯、分析、處理，儲存多種格式的圖片。</p>	
---	--

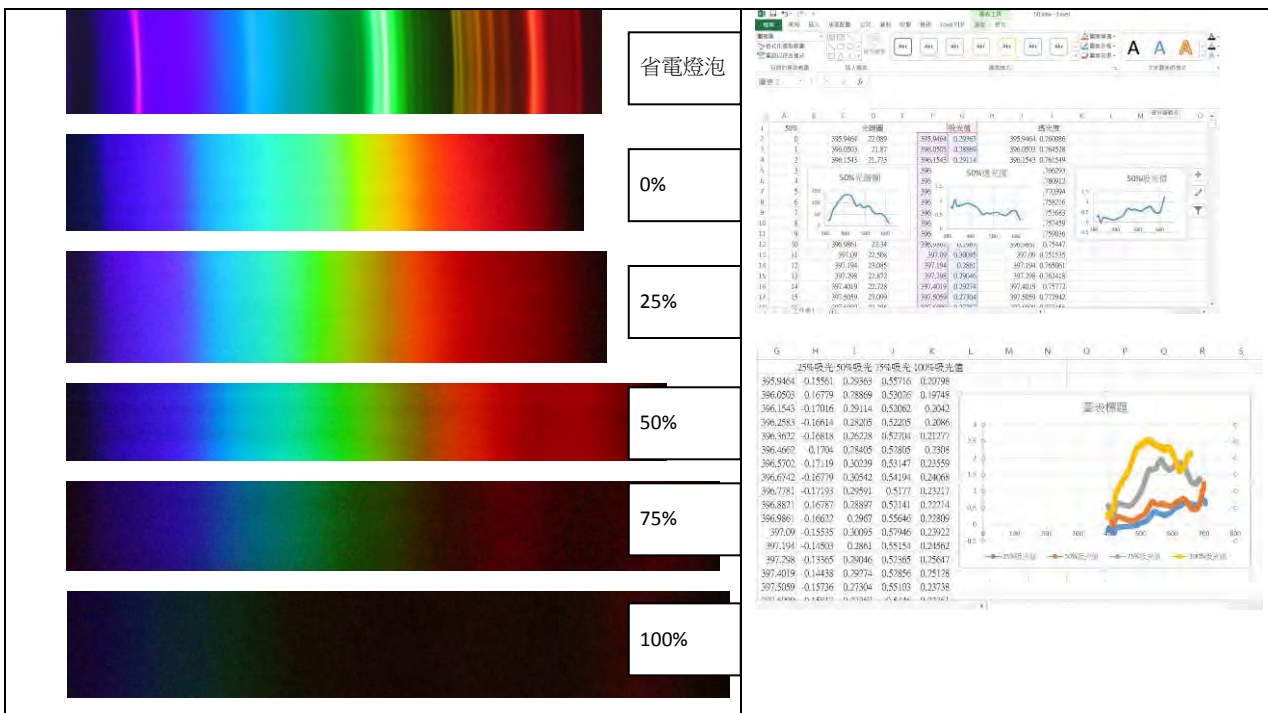
(二) 實驗方法：

1. 用 canon500D 拍攝省電燈泡光譜以校準光譜儀。
2. 將省電燈泡光光譜照片匯入 ImageJ, 利用 plot profile 得到光譜強度圖, 並利用 curve fitting 做出方程式將 pixel 值轉化為波長值。

			
<p>下載 ImageJ 程式</p>	<p>將光譜照片拖曳到 ImageJ 程式，利用旋轉功能讓光譜藍光在左</p>	<p>利用 drop 將光譜多餘的邊裁掉</p>	<p>按 Ctrl+a 全選照片，再按 Ctrl+k 會跳出一個光譜強度圖</p>
			
<p>打開 curve sitting 功能將裡面的數字刪掉</p>	<p>將光譜圖的任意兩個高峰(x 值)和對應的波長(y 值)輸入 curve sitting 裡面並按 fit</p>	<p>接著會跳出一個公式，此公式即是用來將 pixel 換算成波長</p>	<p>按光譜圖的 list 會跳出很多像素值和強度值</p>
	<p>$=227.85247+0.093371*P17$</p>		
<p>將 xy 和標號複製到 Excel 上</p>	<p>在 y 值處輸入前面 curve sitting 算出的公式 $=227.85247+0.093371*x$ 值</p>	<p>並將整行往下拉開自動算出所有值</p>	<p>將算出的波長值與光譜強度做出 xy 散佈圖</p>

3. 配置不同濃度(25%、50%、75%、100%)蝶豆花液，用 canon 500D 以相同光圈快門拍攝各濃度蝶豆花液及水之光譜圖，利用 ImageJ 計算出透光度及吸光值 ($T=I/I_0$, $A= -\log T$)

(三) 遭遇問題：將所有的光譜並排後發現光譜寬度不同，導致分析時各濃度光譜圖波長位置有誤差，應該是因為用單眼相機拍照時，相機位置不固定導致。

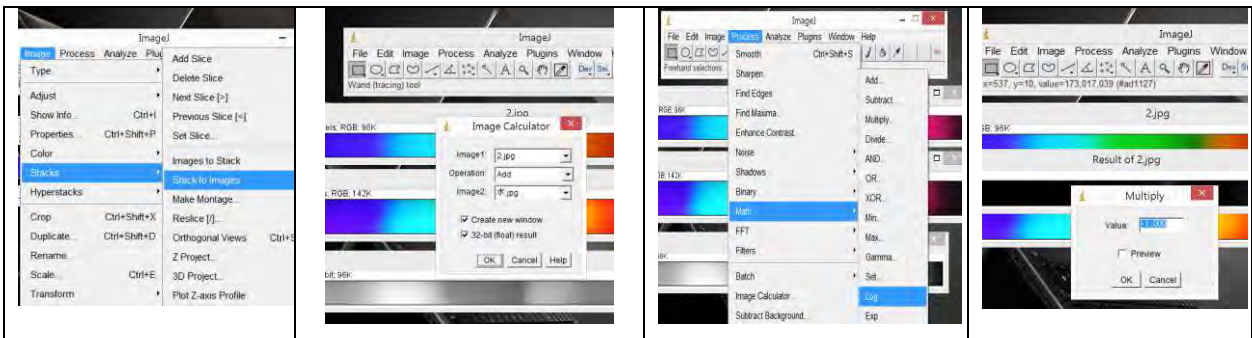


(四) 解決方法：

	<p>改取另一 Android 手機 Sharp Z2，下載 Camera FV-5 app 來模擬數位相機功能，可調整對焦方式、光圈、快門、曝光補償，固定拍攝條件</p>		<p>加強手機支架結構，使手機鏡頭與光柵之相對位置固定，可免去重複校正麻煩</p>
--	---	--	---

(五) 實驗方法及結果：

<p>Sharp Z2 拍攝省電燈泡水及各濃度的蝶豆花液光譜並拖入 ImageJ 中</p>	<p>用 image to stack 功能將照片串列在一起</p>	<p>選取涵蓋完整清晰接近且直線的光譜範圍並用 clear outside 切去不需要的部分</p>

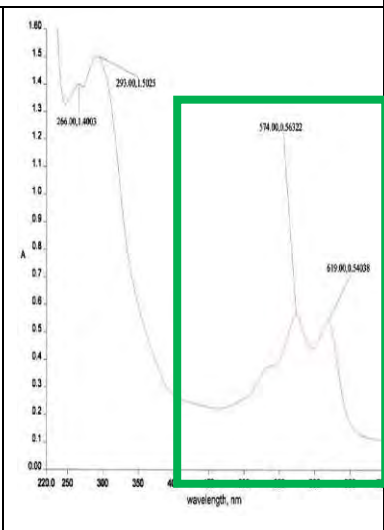
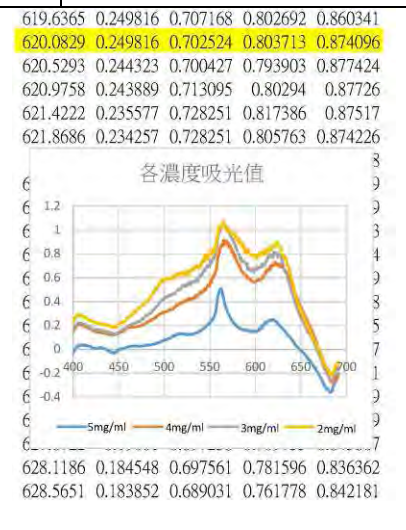
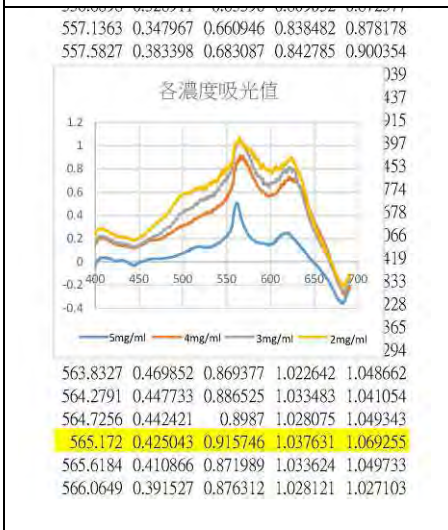
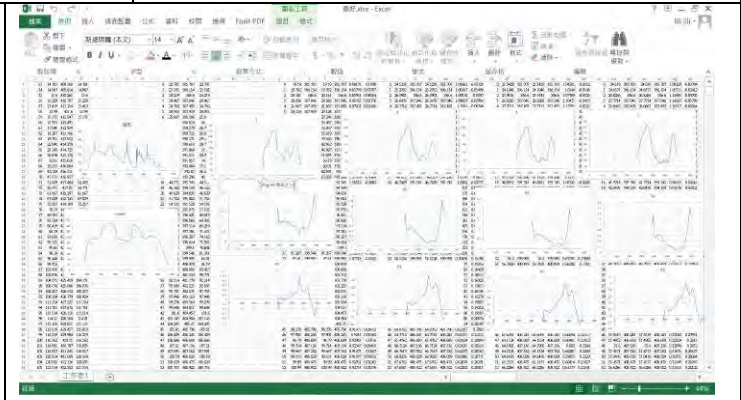


利用 stacks to image 將照片拆開作分析

利用 image calculator : divide 功能將各濃度的光譜圖除以水的光譜圖，得到透光率 T 的圖

利用 math : log 再將透光率的圖，取 log10 並乘以(-1)，得到各濃度的吸光度圖

利用 plot profile 功能列出數據貼到 excel 內，利用省電燈泡的換算公式將像素換算成波長值，作出各濃度波長與透光度、吸光值之列表



做出各濃度波長與吸光值的 xy 散佈圖，可發現蝶豆花在可見光範圍有兩個吸收峰，分別是 565 及 620nm，與國外論文蝶豆花的最大吸收波峰 574nm、619nm 相符

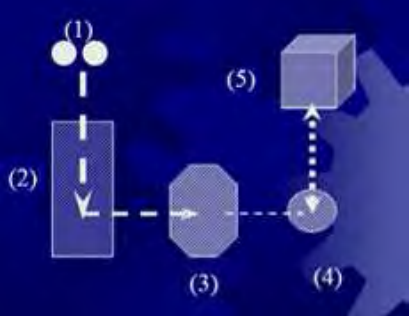
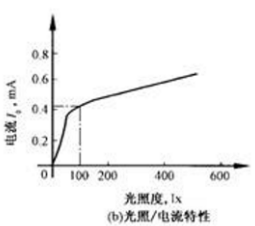
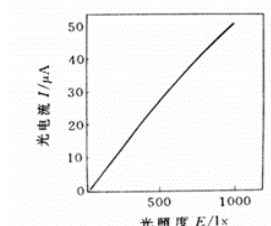
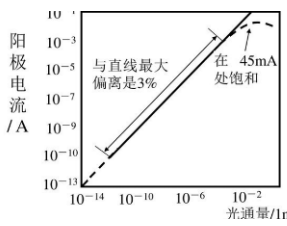
(六) 討論：

1. 自製樂高光譜儀加上 ImageJ 軟體分析的方法可準確做出吸收光譜圖，用於定性分析。
2. 拍攝溶液、各濃度標準品及待測樣品之光譜並分析計算其吸光值，利用最大吸收波長處各濃度標準品標準之吸光值製作檢量線，即可算出待測物濃度，用於定量分析。

五、研究市售分光光度計的構造並著手設計自製光度計

(一) 實驗構想：前面光譜儀加上 ImageJ 的方法用於定量時步驟繁瑣，因此想自製簡易光度計。

(二) 研究市售分光光度計結構：

結構		<p>(1) 光源 (2) 波長選擇器 (3) 樣品室 (4) 偵測器 (5) 訊號處理軟體</p>	
光源	<p>可見光源 多屬熱光源，如鎢燈及鹵鎢燈，發射光譜約在 320-2500 nm，可產生可見光及近紅外光。</p>	<p>紫外光源 多為氣體放電光源，如氫、氬、氙及汞燈，其中以氫與汞燈應用最廣，波長範圍約 160-380 nm。</p>	
波長選擇器	<p>光電比色計 以濾光片 (filter) 濾出不需要的光線，只提供試樣容易吸收的光線進行照射，因此波長使用幅度相當寬，較不適合用於精密測定</p>	<p>分光光度計 單色光器：結構主要有狹縫、透鏡、鏡片及或稜鏡，可提供單色光，因此試樣中物質對光的吸收度更靈敏，適合用於精密測定，目前此為各實驗室內普遍使用的精密儀</p>	
偵測器	<p>光敏電阻</p>  <p>當它們受到光線照射時，由於光傳導效應，使得它們的電阻值改變。光輻射強度愈大，則其電阻值愈小。受溫度的影響較大。當光的強度很小時，導電度變化很小，效果不好，且光照特性呈非線性。一般用於自動控制中作開關元件</p>	<p>光電二極體</p>  <p>在沒有光照時由於二極體反向偏置，所以反向電流很小，這時的電流稱為暗電流。當光照射在二極體的 PN 結上時，在 PN 結附近產生電子—空穴對，並在外電場的作用下，漂移越過 P N 結，產生光電流。光電流與光照度成正比</p>	<p>光電倍增管</p>  <p>是一種對紫外光、可見光和近紅外光極其敏感的特殊真空管。它能使進入的微弱光信號增強至原本的 108 倍，使光信號能被測量，靈敏度非常高，線性好，多用於微光測量</p>


(三) 設計理念：

1. 我看到網路上有人用麵包板加三用電表製作簡易光度計，我覺得測量的時候很麻煩，而且電壓值要自己用筆記錄，不太方便，我想到去年做科展時有注意到的 Arduino 控制板，可以取代三用電表，且可搭配 S4A 軟體來編寫程式。

2. 我針對分光光度計的各個元件，找出各種容易上手且價格便宜的替代方法，目的是希望設計能推廣至其他國小學生，讓他們在研究過程中也可以擁有媲美專業分光光度計的儀器。

元件	本實驗採用	優點	價格
光源波長選擇器	使用 LED 燈泡	有各種色光可免去分光麻煩	LED 2-3 元/顆 SMDRGB LED 模組 40 元/顆
樣品室	使用樂高積木製作	容易取得、變化靈活	0 元-5 元/顆
偵測器	使用光電二極體	靈敏度高、可靠性佳	100 元/顆
電路設計	使用麵包板設計電路	麵包板是不需要焊接，就可以將電路中所使用的電子元件加以連接	麵包板 75 元/片 電阻 1 元/3 個 精密電阻 1 元/個
	Arduino uno 作為數據讀出裝置	可簡單連接各式各樣的電子元件，支援多樣的互動程式開發工具，使用低價格的微處理控制器，不需外接電源。	Arduino uno R3 390 元/片

(四) 軟硬體研究：

Arduino uno and ADC(Analog to Digital Conversion)	
	<p>Arduino 是開放原始碼的電路圖設計程式開發介面，免費下載，也可依需求自己修改，可簡單連接各式各樣的電子元件，使用低價格的 ATmega328 微處理控制器，內建類比數位轉換器 USB 介面，可提供 5V 電源，不需外接電源。</p>

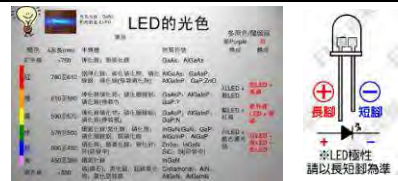
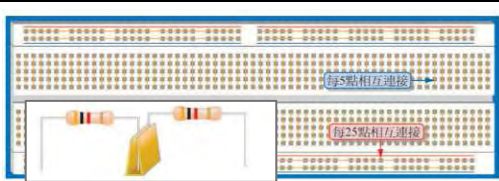
類比數位轉換器 (Analog-to-digital converter, 簡稱 ADC)：

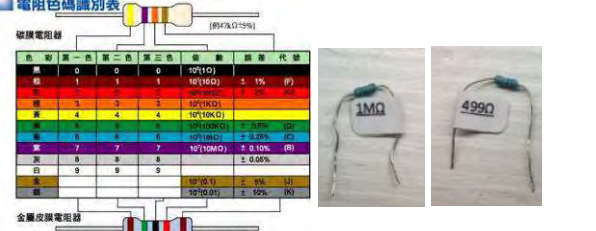

Arduino uno 具有 14 個數字 I/O 接腳 (其中 6 個提供 PWM 輸出，8 位元解析度)，6 支可用來接受類比電壓輸入的接腳 A0 到 A5，每支腳都可提供 10 位元的解析度 (即 0~1023 不同數值，1024 種不同的數值)。這些腳位所用的參考電壓預設為 0 到 5V，控制板上 ATmega328，預設會將 0V 到 5V 轉換為 0 至 1023 的數值。



$2^{10}=1024$ ，解析度越高，所得的訊號越精準
預設會將 0V 到 5V 轉換為 0 至 1023 的數值。

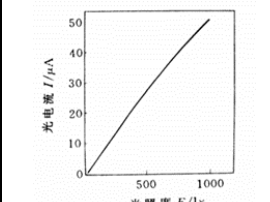
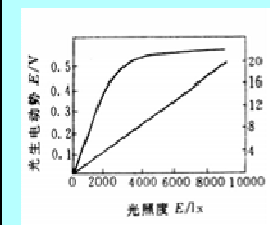
$$\frac{\text{解析度}}{5\text{V操作電壓}} = \frac{1023}{5} = \frac{\text{ADC數值}}{\text{測到的電壓值}}$$

LED 發光二極體 (Light Emitting Diode)	麵包板
	
<p>壽命長，省電，環保無汞、體積小、可應用在低溫環境、光源具方向性、色域豐富。白光及紫光 LED 是屬於多原色、多頻段，由不同顏色 LED 及黃磷、紫外線等構成。</p>	<p>當中同一排的 5 點是互相連接的，排與排之間是不相連的，左右四列中，直行同一列中的 25 點是互相連接的，可提供較多元件接腳連接，一般作為電源與共同接地端的連接點使用。</p>

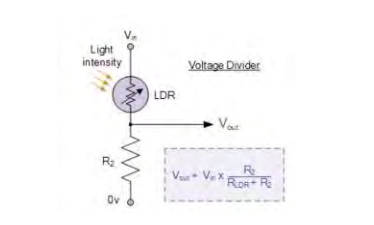
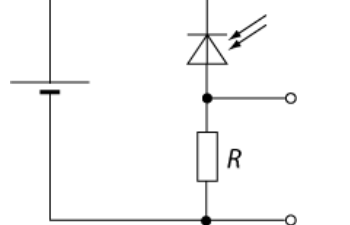
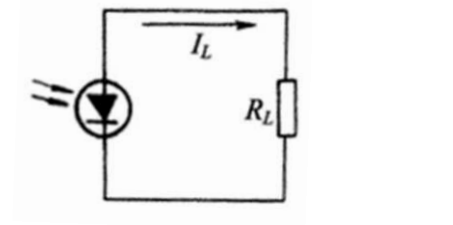
電阻色碼讀取方法	S4A																																																																																				
 <p>電阻色碼讀取方法</p> <p>色碼 第一色 第二色 第三色 乘數 誤差 代號</p> <table border="1"> <tr><td>黑</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>10¹(10)</td><td>± 1%</td><td>(B)</td></tr> <tr><td>棕</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>10²(100)</td><td>± 1%</td><td>(C)</td></tr> <tr><td>紅</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>10³(1000)</td><td>± 1%</td><td>(D)</td></tr> <tr><td>橙</td><td>3</td><td>3</td><td>0</td><td>10⁴(10K)</td><td>± 1%</td><td>(E)</td></tr> <tr><td>黃</td><td>4</td><td>4</td><td>0</td><td>10⁵(100K)</td><td>± 1%</td><td>(F)</td></tr> <tr><td>綠</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>10⁶(1M)</td><td>± 0.5%</td><td>(G)</td></tr> <tr><td>藍</td><td>6</td><td>6</td><td>0</td><td>10⁷(10M)</td><td>± 0.1%</td><td>(H)</td></tr> <tr><td>紫</td><td>7</td><td>7</td><td>0</td><td>10⁸(100M)</td><td>± 0.05%</td><td>(I)</td></tr> <tr><td>灰</td><td>8</td><td>8</td><td>0</td><td>10⁹(1G)</td><td>± 0.05%</td><td>(J)</td></tr> <tr><td>白</td><td>9</td><td>9</td><td>0</td><td>10¹⁰(10G)</td><td>± 0.05%</td><td>(K)</td></tr> <tr><td>金</td><td></td><td></td><td></td><td>± 5%</td><td></td><td>(L)</td></tr> <tr><td>銀</td><td></td><td></td><td></td><td>± 10%</td><td></td><td>(M)</td></tr> </table> <p>金屬皮膜電阻器 (阻值 ± 1%)</p>	黑	0	0	0	10 ¹ (10)	± 1%	(B)	棕	1	1	0	10 ² (100)	± 1%	(C)	紅	2	2	0	10 ³ (1000)	± 1%	(D)	橙	3	3	0	10 ⁴ (10K)	± 1%	(E)	黃	4	4	0	10 ⁵ (100K)	± 1%	(F)	綠	5	5	0	10 ⁶ (1M)	± 0.5%	(G)	藍	6	6	0	10 ⁷ (10M)	± 0.1%	(H)	紫	7	7	0	10 ⁸ (100M)	± 0.05%	(I)	灰	8	8	0	10 ⁹ (1G)	± 0.05%	(J)	白	9	9	0	10 ¹⁰ (10G)	± 0.05%	(K)	金				± 5%		(L)	銀				± 10%		(M)	 <p>Scratch for Arduino (S4A)</p> <p>PROGRAMACIÓN INTUITIVA Y SENCILLA</p> <p>S4A ARDUINO</p>
黑	0	0	0	10 ¹ (10)	± 1%	(B)																																																																															
棕	1	1	0	10 ² (100)	± 1%	(C)																																																																															
紅	2	2	0	10 ³ (1000)	± 1%	(D)																																																																															
橙	3	3	0	10 ⁴ (10K)	± 1%	(E)																																																																															
黃	4	4	0	10 ⁵ (100K)	± 1%	(F)																																																																															
綠	5	5	0	10 ⁶ (1M)	± 0.5%	(G)																																																																															
藍	6	6	0	10 ⁷ (10M)	± 0.1%	(H)																																																																															
紫	7	7	0	10 ⁸ (100M)	± 0.05%	(I)																																																																															
灰	8	8	0	10 ⁹ (1G)	± 0.05%	(J)																																																																															
白	9	9	0	10 ¹⁰ (10G)	± 0.05%	(K)																																																																															
金				± 5%		(L)																																																																															
銀				± 10%		(M)																																																																															
<p>M 即百萬，等於 1000000 (10 的六次方)</p> <p>K 即一千，等於 1000 (10 的三次方)</p> <p>可利用色碼電阻 app 讀取電阻值較為方便</p>	<p>Scratch 的修改版本，提供額外積木以支援 Arduino</p>																																																																																				

(五) 電路設計實驗：

1. 研究光電二極體的工作模式：

光導模式	<p>逆向偏壓</p> <p>在逆向偏壓下，無光照時，反向電流很小 ($< \mu A$)，稱為暗電流；當有光照時，產生電子-電洞對，在外電場的作用下，形成比暗電流大得多的反向電流，該反向電流稱為光電流</p>	<p>(1) 逆向偏壓下有暗電流，雜訊較大</p> <p>(2) 高速測量</p> <p>(3) 用於雷射脈衝檢測或條碼讀取</p>	 <p>光電流 $I/\mu A$</p> <p>光照度 E/lx</p>
光伏模式	<p>無偏壓</p> <p>當光照射在 PN 接合面時，P 型半導體產生電洞，N 型半導體產生自由電子，其陽極電壓高於陰極電壓，產生一個與入射光成比例的電流，它在任何連接於陽極和陰極之間的電路中流動</p>	<p>(1) 用於弱光，少許光即會產生電流</p> <p>(2) 光伏模式的短路電流 I_{sc} 與照度大小呈線性關係</p> <p>(3) 精確的線性工作 用於光計或光譜測量</p>	 <p>光生電位 E/V</p> <p>光照度 E/lx</p> <p>(b)</p>

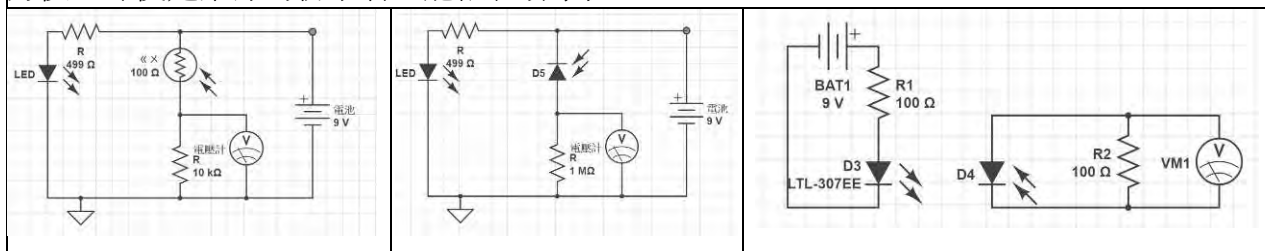
2. 研究光敏電阻、光電二極體光導模式、光電二極體光伏模式之光偵測電路

光敏電阻	光電二極體光導模式	光電二極體光伏模式
 <p>Light intensity</p> <p>V_{in}</p> <p>Voltage Divider</p> <p>LDR</p> <p>R₀</p> <p>V_{out}</p> <p>0v</p> <p>$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_0}{R_{LDR} + R_0}$</p>	 <p>R</p>	 <p>I_L</p> <p>R_L</p>

3. 實驗步驟：

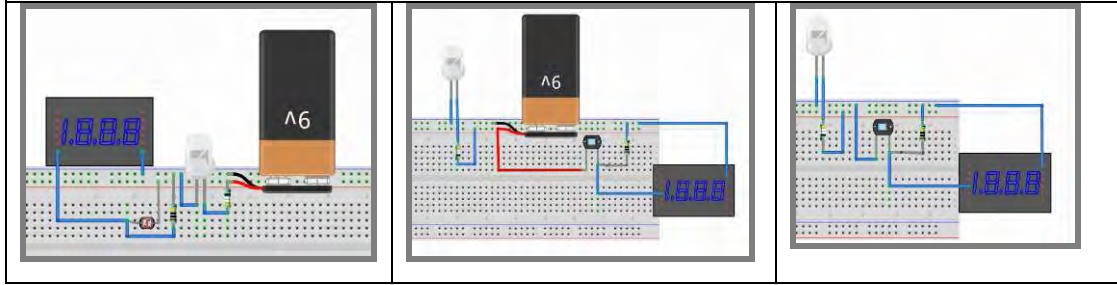
(1) 利 Circuitlab 網站來畫電路圖

CircuitLab 軟體，以瀏覽器為基礎，具備所有繪制電路圖和模擬運行的功能，使用起來非常方便，即使是業餘的初學者也能很容易掌握



(2) 用 fritzing 軟體畫出接線圖：

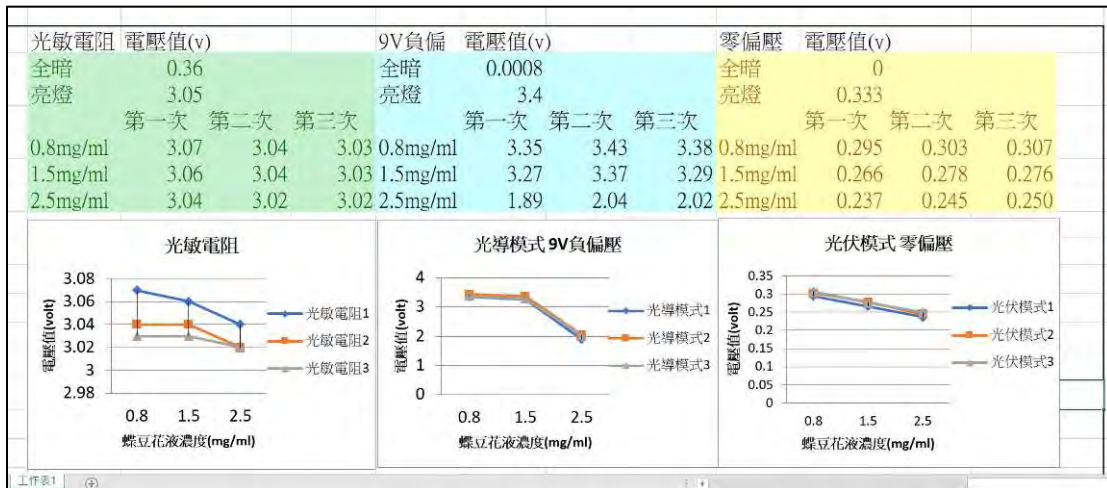
Fritzing：基於開放、共享的精神，設計簡單好用的軟體操作介面，讓使用者即使沒有電子電機的背景也可以輕而易舉地製作出 PCB 印刷電路板的設計圖。



(3) 實際接線測試：



4. 實驗結果：



5. 討論：

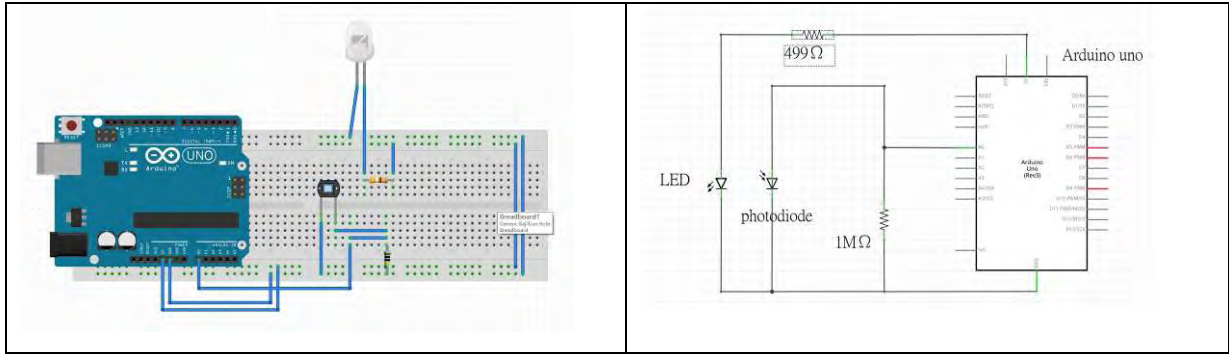
- (1) 光敏電阻反應速度慢，易受環境干擾，數據容易跳動。當光的強度很小時，導電度變化很小，效果不好，且光照特性非線性。
- (2) 光電二極體光導模式有暗電流，所以雜訊較大。
- (3) 光電二極體光伏模式穩定度高，線性良好，因此決定使用光伏工作模式來製作光度計。

六、自製 Arduino LED 光度計

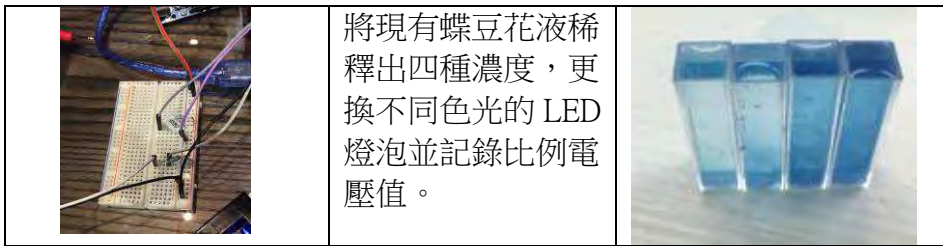
(一) 自製無 OP 放大器版本，並測定各種不同濃度蝶豆花的吸光值

1. 實驗步驟：

(1) 用 fritzing 軟體畫出電路設計圖：



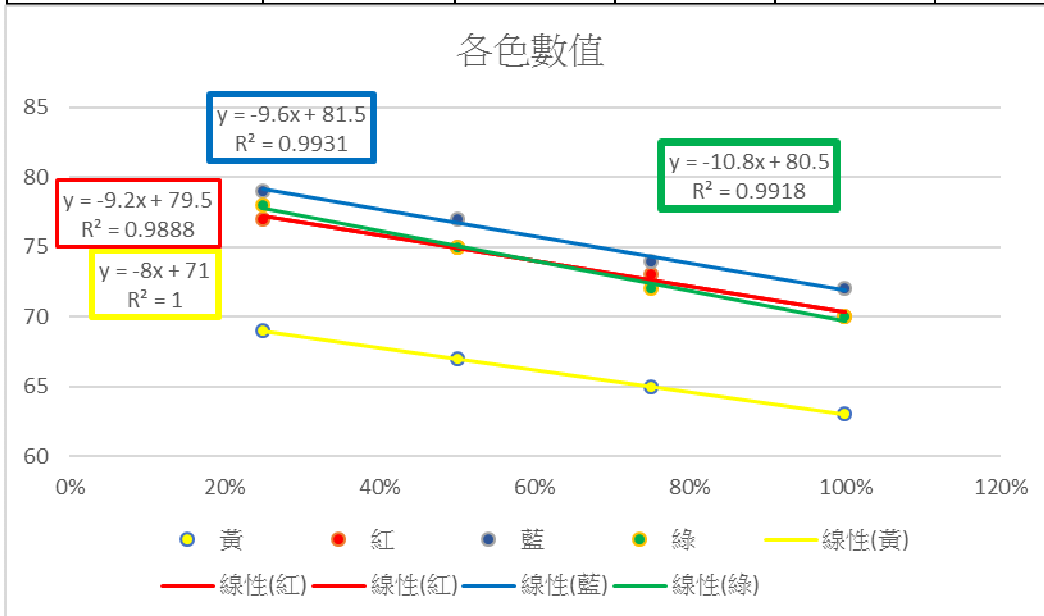
(2) 實際接線測試並讀取比例電壓值



將現有蝶豆花液稀釋出四種濃度，更換不同色光的 LED 燈泡並記錄比例電壓值。

2. 實驗結果：各色 LED 燈測得比例電壓值

LED 燈色 \ 溶液	純水	25% 蝶豆花液	50% 蝶豆花液	75% 蝶豆花液	100% 蝶豆花液
黃	72	69	67	65	63
紅	82	77	75	73	70
藍	82	79	77	74	72
綠	80	78	75	72	70




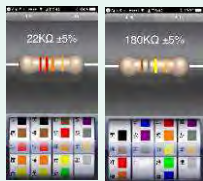
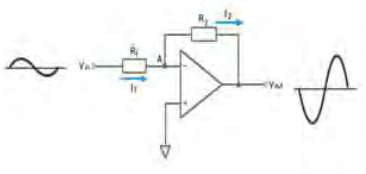
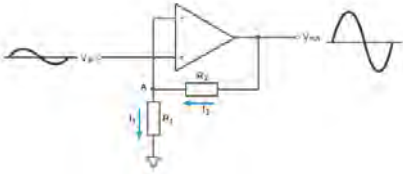
3. 討論：

- (1) 測出的數值為 ADC 轉換後的數值，與實際測得的電壓成比例關係，我將其稱為 **比例電壓值(實際測得的電壓=ADC 數值 x5/1023=0.00488759)**
- (2) 實驗數據用 EXCEL 製作離散圖及趨勢線，發現比例電壓值與濃度成反比。

(3) 發現黃光的趨勢線 R^2 值為 1，顯示有非常良好的線性關係，因此可以選擇黃光作為蝶豆花實驗之色光。

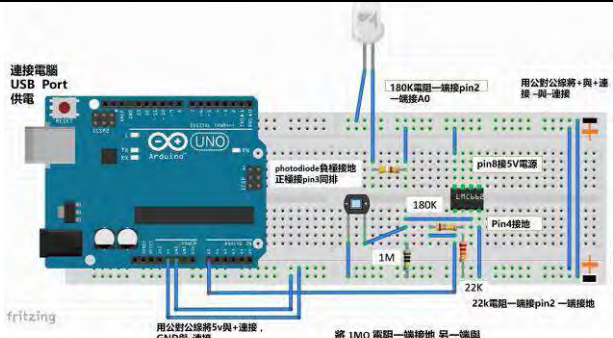
(二) 自製 Arduino LED 光度計(有 OP 放大器)，並測定蝶豆花濃度

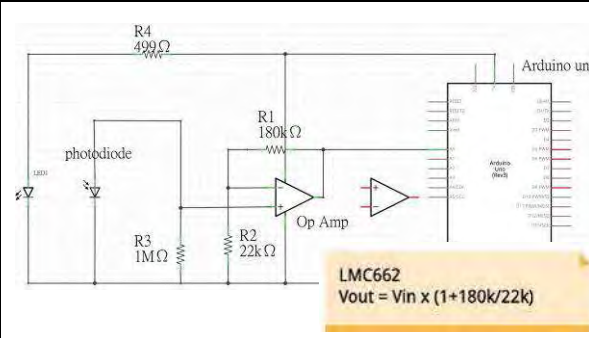
1. 實驗思路：因原始版本比例電壓數值差異過小，因此決定加上 OP 放大器放大比例電壓數值。
2. 實驗步驟：
 - (1) 準備運算放大器 LMC662CN，並設計非反向放大器電路來放大輸出的電壓訊號。

運算放大器電路分類		本實驗中搭配的電阻
反相閉迴路放大器	非反相閉迴路放大器	 
		
增益 $G = V_{out}/V_{in} = -R_2/R_1$	本實驗的增益 $G = V_{out}/V_{in} = (1 + R_2/R_1)$ $= 180k/22k + 1 = 9.18$ (接近 10)	

(2) 繪製電路圖：

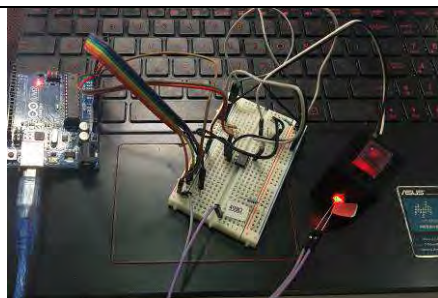
用 fritzing 設計電路圖





LMC662
 $V_{out} = V_{in} \times (1 + 180k/22k)$

實際接線測試



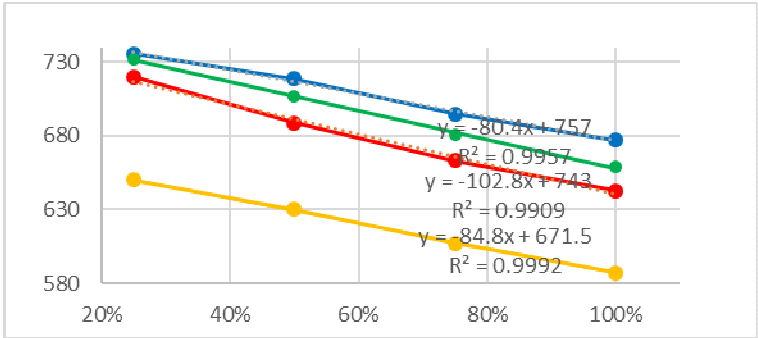
- | | |
|----------------------------------|--------------|
| Pin1 接 180k 及接 V_{out} 至 A_0 | Pin8 接 5V 電源 |
| Pin2 一端接 180k
一端接 22k 接 | |
| pin3 接光電二極體 V_{in+} | |
| Pin4 接地 | |

(3) 測定蝶豆花濃度

實驗方法：配製四種不同濃度的蝶豆花液，搭配水為對照組，總共五組。利用自製的有 OP Arduino LED 光度計搭配黃、紅、藍、綠不同色光的 LED 燈泡來測定比例電壓值來測試。

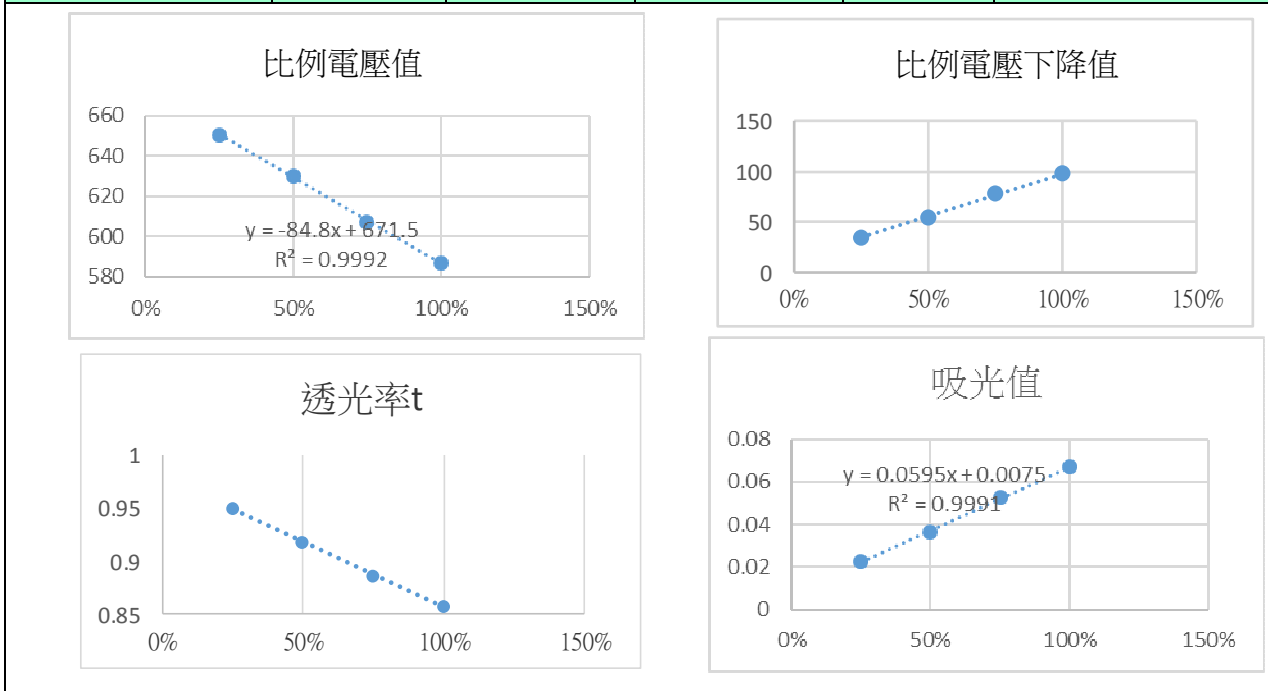
3. 實驗數據：

	水	25 %	50 %	75 %	100 %
黃	685	650	630	607	587
紅	771	720	689	663	643
藍	774	736	719	695	677
綠	767	732	707	681	659



4. 數據分析：自行定義以下參數，並以黃光測定出的比例電壓值作圖來分析這些參數與濃度的關係。

比例電壓下降值 = 試樣測出的比例電壓值 - 溶劑測出的比例電壓值	本儀器測出的試樣透光率 $t = \text{試樣測出的比例電壓值} / \text{溶劑測出的比例電壓值}$					本儀器測出的試樣吸光值 $a = -\log_{10} t$
	水	25%	50%	75%	100%蝶豆花液	
黃	685	650	630	607	587	
比例電壓下降值		35	55	78	98	
透光率(t)		0.9489	0.9197	0.8861	0.8569	
吸光值(-log ₁₀ t)		0.0228	0.0364	0.0525	0.067	



5. 討論：

- (1) 蝶豆花液濃度愈高，比例電壓值愈低，代表被吸收的黃光愈多，穿透的黃光愈少。
- (2) 數據顯示，比例電壓值與透光率 t 和蝶豆花液濃度成反比，比例電壓下降值和吸光度 a 與濃度成正比， R^2 都非常近 1，表示有良好的線性關係。

七、利用 Arduino LED 簡易光度計有 OP 版檢測蝶豆花之抗氧化力：

(一)實驗思路：

在文獻中所看到測定抗氧化力的方式多需用到分光光度計，包括以下幾種：

	還原力測定	捕捉過氧化氫的能力測定	清除 DPPH 自由基能力測定
檢測方式	以檢測普魯士藍之生成量	以檢測 H ₂ O ₂ 吸光值	以檢測 DPPH 吸光值
波長	700 nm	230 nm	517 nm
是否可利用 LED 分光光度計測定	可，但需要多種輔助試劑及步驟	吸收波長在 UVC 範圍，目前 UV LED 技術尚未成熟	可行，利用綠光 LED

我們選擇以 DPPH 試劑作為抗氧化力測定方式，是因為此方法步驟簡單，只須讓試樣與 DPPH 在常溫下避光作用，不須添加其他輔助試劑。

(二)實驗原理：

DPPH 是一種安定的自由基，在甲醇或乙醇溶液中成深紫色，在波長 517nm 下有強吸收值。

1. 若試樣具抗氧化能力，就能清除 DPPH 自由基，使吸光值降低(溶液變無色或黃色)。吸光值愈低，表示清除 DPPH 自由基能力愈強。 $DPPH + AH \rightarrow DPPH_2 + A$ 。
2. 我們的 Arduino 板測出的電壓愈高，表示綠光被吸收愈少，DPPH 被清除的越多；電壓愈低表示溶液顏色較深，DPPH 被清除較少，可藉此測定蝶豆花液的抗氧化能力。

(三)實驗步驟：

1. 測定 DPPH 的最大吸收色光：

- (1) 將 0.019715 g DPPH(MW=394.3)加入 250ml 乙醇，配置成 0.1mM DPPH 之乙醇溶液 250ml。
- (2) 將 DPPH 裝入比色管，置入比色槽，利用我們的 Arduino LED 光度計搭配不同顏色 LED 燈泡，紀錄 Arduino uno 測得的電壓。
- (3) 利用乙醇當對照組，置入比色槽，利用我們的 Arduino LED 光度計搭配不同顏色 LED 燈泡，紀錄 Arduino uno 測得的電壓。

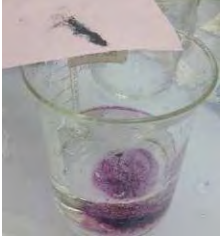


2. DPPH 自由基清除測試：

(1) 3g 乾燥蝶豆花加 200ml 水煮沸過濾後備用。

(2) 配置不同濃度蝶豆花液：

100%蝶豆花液	75%	50%	25%	0%
15 DWmg/ml	11.25	7.5	3.75	0
0.8c.c 蝶豆花液	0.6c.c 蝶豆花液	0.4c.c 蝶豆花液	0.2c.c 蝶豆花液	0c.c 蝶豆花液
0c.c 過濾水	0.2c.c 過濾水	0.4c.c 過濾水	0.4c.c 過濾水	0.8c.c 過濾水

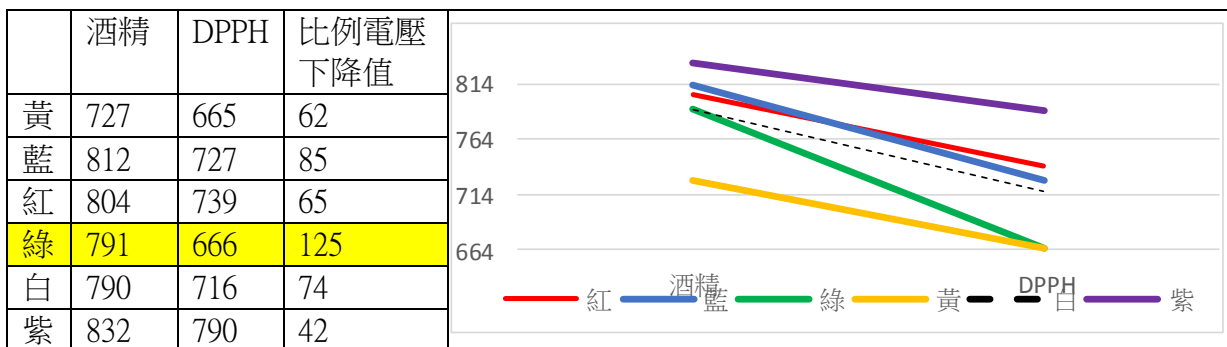
(3) 不同濃度蝶豆花液與 DPPH 混合進行反應：

0.019715 g DPPH (MW=394.3)加 250ml 乙醇，配置成 0.1mM DPPH 之 乙醇溶液 250ml 取 0.8 ml 不同濃度之蝶豆花液，加入 1.6 ml 新鮮配製之 0.1 mM DPPH 乙醇溶液。震盪混合均勻，並在室溫下避光靜置 30 分鐘。使用自製 LED 光度計 搭配綠光 LED 測定電壓值，電壓值愈高表示樣品清除 DPPH 自由基之能力愈高。

(四)實驗結果：

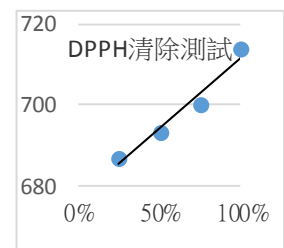
1. 測定 DPPH 的最大吸收色光：



實驗結果顯示，DPPH 對綠光的吸收最強，與其最大吸光值 517nm(綠光範圍)相符，於是決定利用綠光 LED 光度計來測定蝶豆花的抗氧化能力。

2. DPPH 自由基清除測試：

蝶豆花液濃度	100%	75%	50%	25%	DPPH
綠光 LED 測出之比例電壓值	714	700	693	687	653



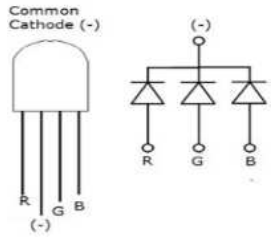
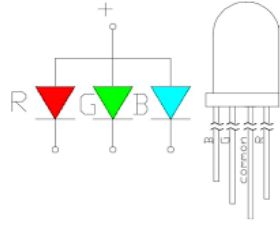
實驗結果顯示，蝶豆花液的濃度愈高，我們的 Arduino

板測出的電壓愈高，表示綠光被吸收愈少，代表 DPPH 被清除的越多，顯示蝶豆花具有清除 DPPH 自由基之能力。


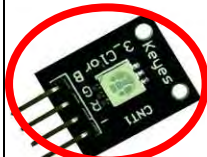
八、自製 Arduino RGB LED 光度計：

(一) 實驗構想：

1. 由於市面上的 LED 燈還是沒辦法各種色光都有，而且插拔 LED 燈泡很麻煩，因此想到是不是可以利用曾經看過的 RGB LED，搭配 RGB 的數值，來混合出各種 LED 色光
2. 什麼是 RGB LED：

RGB LED 是一個可以發出紅色(Red)、綠色(Green)、藍色(Blue)的 LED，並且可以依照紅綠藍各別不同的亮度，混合出各式各樣的 LED 燈光	
共陰極：	共陽極：
 <p>電源由訊號端提供，經過元件，然後共同接地形成迴路，國小比較建議使用。</p>	 <p>電源共同由電源端直接供應，經過元件，然後經過訊號控制端迴路。</p>
優點：符合人類習慣，ON 就是開，OFF 是關，學習與認知方便。	優點：雖然 Arduino 的輸出有電流額度限制，但是利用共陽的接法，可以將電源端改成電池或其他大電流的供電設備，因此可以負擔需求 40mA 以上的電流的元件
缺點：Arduino 的輸出有電流額度限制，僅能負擔 40mA，因此如果你的後端輸出設備電流需求大於 40mA，就會無法驅動元件，例如直流馬達，或是瓦數較高或是電流需求量的燈泡	缺點：不符合人類習慣，ON 變成關，OFF 變成開，學習與認知會很衝突。 RGB 數值必須取 255 的補數，比較麻煩

3. RGB LED 的種類選擇：

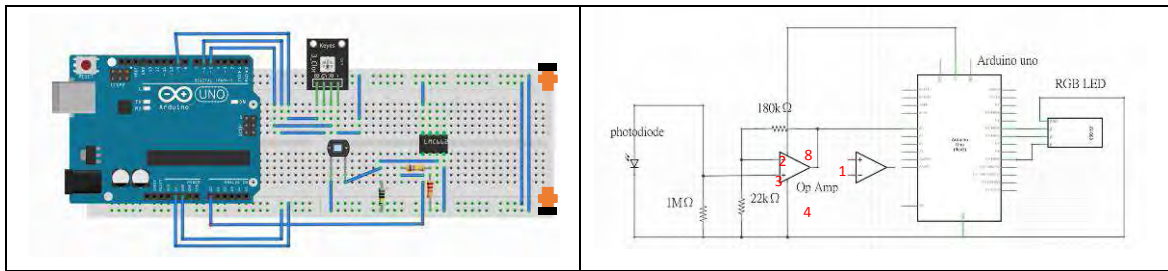
 <ul style="list-style-type: none"> • DIP 插鍵式 <ul style="list-style-type: none"> - 價格便宜，加工容易 - 以戶外應用與指示燈為主 → 有空間限制時使用 SMD LED，否則二者皆可 	 <ul style="list-style-type: none"> • SMD 表面黏著型 <ul style="list-style-type: none"> - 體積小，混光性佳
--	--

4. 什麼是脈波寬度調變 Pulse Width Modulation

<p>是將類比訊號轉換為脈波的一種技術，一般轉換後脈波的週期固定，但脈波的占空比會依類比訊號的大小而改變。通常我們可以用來調整燈光的亮度、馬達的轉速、RGB LED 的配色、螢幕亮度控制、喇叭的大小聲/聲音頻率等…。</p>
<p>Arduino 提供 PWM 電壓輸出，就是板子上有~ 符號的，分別是 pin 3、5、6、9、10、11，具有模擬類比輸出功能，解析度為 8bits，電壓是 0-5V，代表從 0-255，每增加 1，電壓增加 0.019607843 V，因此可以給出任意電壓而非只有 ON/OFF 訊號，</p>

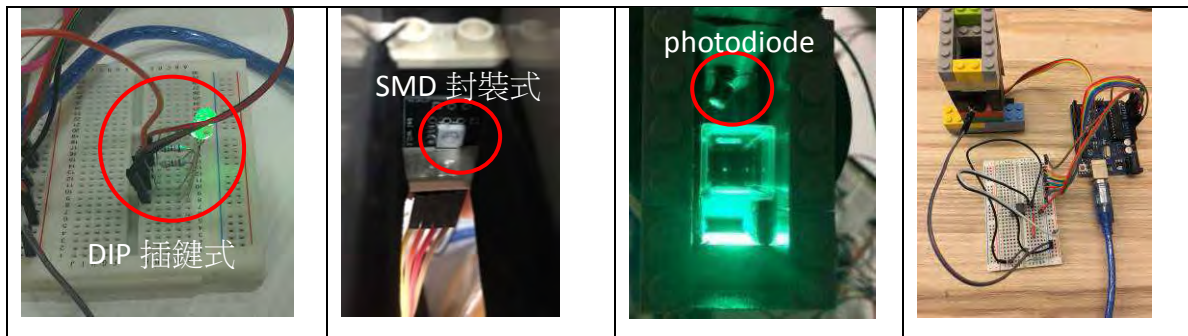
(二) 實驗步驟：

1. 用 fritzing 繪製電路圖：



2. 將共陰極 RGB LED 的陰極接地，標示 R、G、B 的街腳分別接到具有 Arduino 板上具有模擬類比輸出功能的 PWM 電壓輸出的 pin5、6、9 腳位。先嘗試用較便宜的插鍵式 RGB LED，但是很容易壞，且需另加電阻，而且混色性效果差；最後改用 SMD 表面黏著型 混色性佳且不用加電阻。

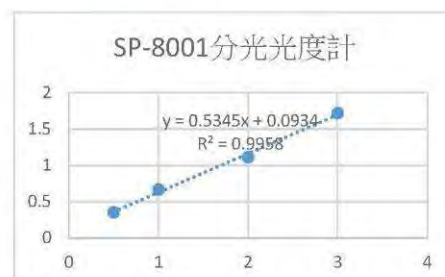
3. 利用有孔樂高積木及門框積木製作加蓋比色槽避免光線干擾。



4. 與市售 SP-8001 型分光光度計(價格 24 萬)測試結果比較：

配置四種濃度蝶豆花液，用相同比色管進行測試，證實我們的 Arduino RGB LED 光度計與 24 萬的高價光度計測試結果相近，檢量線 R^2 值皆趨近 1，可用來做準確的定量分析。

自製光度計	電壓值	t值	a值	SP-8001	A值
水	689				
蝶豆花 0.5mg/ml	671	0.9739	0.011	蝶豆花 0.5mg/ml	0.352
1mg/ml	658	0.955	0.019	1mg/ml	0.664
2mg/ml	642	0.9318	0.03	2mg/ml	1.112
3mg/ml	625	0.9071	0.042	3mg/ml	1.72






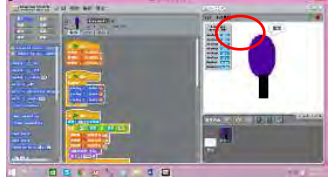
九、利用 S4A 設計模擬專業光度計的功能性軟體

(一) 設計構想：想做出模擬市面上高價分光光度計的軟體功能，所以先研究市售分光光度計軟體功能：

	基本功能		進階功能	高階功能
功能	吸光度測量	定量模式	檢量線計算功能	光譜掃描
操作步驟	1. 輸入最大吸收波長 2. 放入空白及試樣比色管 3. 選擇測量穿透率或吸光度	1. 輸入最大吸收波長 2. 輸入檢量線係數 3. 測量待測物吸光值 4. 顯示濃度值	1. 輸入最大吸收波長 2. 放入空白比色管及各濃度標準品並輸入其濃度 3. 測出各標準品吸光值 4. 機器自行計算檢量線 5. 手動輸入檢量線 6. 測量待測物吸光值 7. 顯示濃度值	掃描待測物最大吸收波長，可設定掃描波長間隔

(二) 設計歷程：

1. 基本版：輸入波長，利用內建各燈色之波長範圍決定燈色及對應的 RGB 數值，亮出紅藍黃等七種燈色來測定比例電壓值。

			
一開始數值歸零	輸入波長，會自動辨認是哪一種顏色的燈，對應正確的 RGB 值，並更改造型和說燈顏色名稱	RGB 變數值一旦改變，也會透過 Arduino 控制 RGB LED，改變燈光的顏色	亮出對應的燈色並測出比例電壓值(手動紀錄 analog 0 之數值)

討論：

(1) 如果使用共陽極 RGB LED 需用 255 減原數值才能正確亮燈，否則會相反。

(2) 需手動記錄每次測定的數值，否則容易遺失數據。

2. 濃度計算器第一版：利用待測品比例電壓值與標準品比例電壓值比較來概略測定待測物濃度。

		提防有人打大寫而無法辨識答案 自動將測到的數值記到列表上
一開始先將所有列表中的數值移除	依序亮出七種燈色，將測到的數值記錄在列表上	



自動減出各燈色之比例電壓下降值，利用如果、否則的方式比較比例電壓下降值，找出最適合的燈光，並記錄在變數上



利用最佳色光測定標準品與試樣，利用「如果」、「否則」的方式比較試樣與標準品，估計出試樣的大約濃度

3. 濃度計算器第二版：內建檢量線

希望能省去在 excel 中處理數據並製作檢量線的繁瑣步驟，所以先研究了檢量線公式 $y=a+bx$ 的計算方式，並把公式利用運算類型的積木內建在程式中

最小平方原理

■ 可從標準方程式中求出 a 和 b 的解，稱作最小平方估計式 (ordinary least squares estimator, 簡稱 OLS estimator)。一般以

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

其中

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

x	y	x-u	y-u	(x-u)(y-u)	(x-u) ²	(y-u) ²
1	35	-1.5	-31.5	47.25	2.25	992.25
2	55	-0.5	-11.5	5.75	0.25	132.25
3	78	0.5	11.5	5.75	0.25	132.25
4	98	1.5	31.5	47.25	2.25	992.25
7	266			106		5
8	2.5	66.5				

$b = 21.2$ $a = 66.5 - 21.2 * 2.5 = 13.5$ $y = 13.5 + 21.2x$



將 X_1-X_4 設為一開始詢問的四個標準品的濃度答案，將 Y_1-Y_4 設為標準品的比例電壓下降值並於偵測後自動計算。利用先設定好 X 和 Y 的平均值之公式，來縮短程式的長度。內建公式自動算出 b 值及 a 值，即可得到檢量線公式並說出來。利用自動算出的檢量線公式 $y=a+bx$ 計算出待測試樣濃度，並說出濃度為多少 mg/ml。



4. 掃描最大吸收波長(間距固定)：利用比較法比較 32 組電壓下降值，但程式太長易當機



5. 掃描最大吸收波長精準版(間距可調)：改良程式，加入迴圈，簡潔不易當機

<p>當 被點一下</p> <p>將第 所有的 項從 樣品 中移除</p> <p>將第 所有的 項從 BLANK 中移除</p> <p>將第 所有的 項從 電壓下降值 中移除</p> <p>將變數 R 的值設為 0</p> <p>將變數 Q 的值設為 0</p> <p>將變數 B 的值設為 0</p> <p>將變數 WL 的值設為 380</p> <p>說 你好! 2 秒</p> <p>將變數 間距 的值設為 10</p>	<p>如果 WL > 679 且 410 < WL</p> <p>將變數 R 的值設為 $0.3 - (410 - WL) / 80 + 0.11$</p> <p>將變數 Q 的值設為 0</p> <p>將變數 B 的值設為 $0.39 + 410 - WL / 80 + 0.9$</p> <p>analog 2: value 1 + 653</p> <p>analog 5: value 0 + 653</p> <p>analog 9: value 3 + 653</p> <p>等待 0.5 秒</p> <p>將 value of sensor analog0 加到 BLANK 的結尾的項</p> <p>如果 WL > 679 且 410 < WL</p> <p>將變數 R 的值設為 $0.19 - 410 - WL / 80 + 0.19$</p>
---	---

程式內建波長換算 RGB 數值之公式，先設定掃描之波長間隔 10nm，從 380nm 開始每次增加 10nm(間距變數) 到 700nm，自動換算出 RGB 值，自動亮燈，測出每個波長的比例電壓下降值

<p>將變數 i 的值設為 1</p> <p>重複執行直到 (679 - 670) / 間距 < i</p> <p>將 BLANK 的第 i 項 樣品 的第 i 項 的絕對值 加到 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>等待 1 秒</p> <p>將變數 i 的值增加 1</p> <p>將變數 R 的值設為 (650 - 670) / 間距</p> <p>將變數 max 的值設為 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>將變數 max_i 的值設為 i</p> <p>重複執行直到 i < 9</p> <p>如果 max > 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>將變數 i 的值增加 1</p> <p>否則</p> <p>將變數 max 的值設為 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>將變數 max_i 的值設為 i</p> <p>將變數 i 的值增加 1</p> <p>將變數 最大吸收波長 的值設為 $670 + max_i * 間距$</p>	<p>將變數 i 的值設為 1</p> <p>重複執行直到 最大吸收波長 + 8 - 最大吸收波長 - 8 / 間距 < i</p> <p>將 BLANK 的第 i 項 樣品 的第 i 項 的絕對值 加到 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>等待 1 秒</p> <p>將變數 i 的值增加 1</p> <p>將變數 i 的值設為 最大吸收波長 + 8 - 最大吸收波長 - 8 / 間距</p> <p>將變數 max 的值設為 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>將變數 max_i 的值設為 i</p> <p>重複執行直到 i < 2</p> <p>如果 max > 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>將變數 i 的值增加 1</p> <p>否則</p> <p>將變數 max 的值設為 電壓下降值 的第 i 項</p> <p>將變數 max_i 的值設為 i</p> <p>將變數 i 的值增加 1</p> <p>將變數 最大吸收波長 的值設為 $最大吸收波長 - 8 + max_i * 間距$</p>
---	--

利用迴圈重複執行方式快速算出 32 組的比例電壓相差值，找出比例電壓相差最大的那組，算出粗估最大吸收波長

將間距變數改為 2nm，從初估最大吸收波長加減 8 的範圍內，利用迴圈重複執行，找出比例電壓相差最大的那組，算出較精確的最大吸收波長

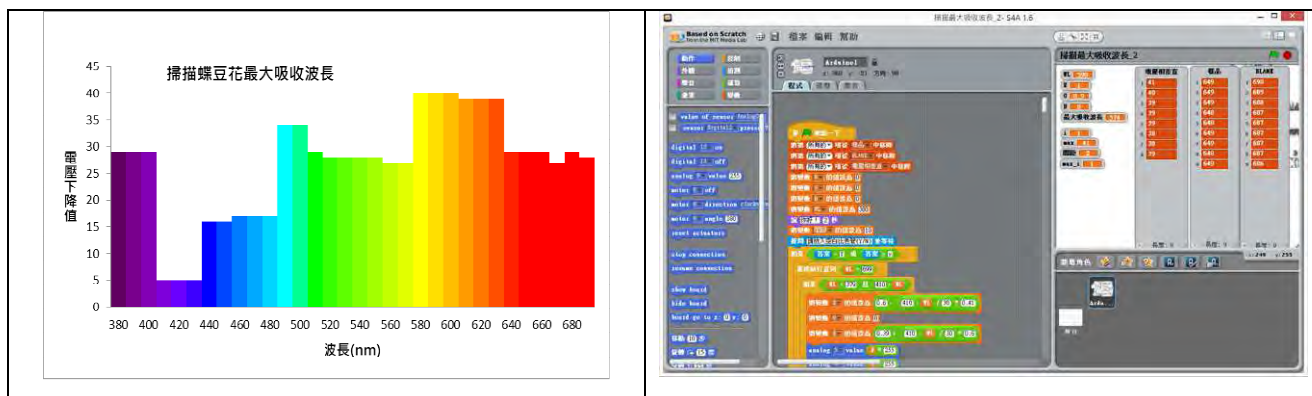
(三) 實驗結果

1. 濃度測定模組定量分析結果

		<p>已知待測品濃度為 2mg/ml，以第一個吸收波峰 574nm 為最大吸收波長，四個標準品為 0.8、1.5、2.5、3.5mg/ml，測定出的濃度為 2.1mg/ml，相對誤差率為 5%</p>
		<p>已知待測品濃度為 2mg/ml，以第二個吸收波峰 620nm 為最大吸收波長，四個標準品為 0.5、1、1.5、3mg/ml，測定出的濃度為 2.025mg/ml，相對誤差率為 1.25%</p>

根據環保署環境檢驗實驗室檢量線查核辦法，分光光度法的相對誤差宜在 +/-15% 以內

2. 光譜掃描模式定性分析實驗結果



本光譜掃描模組測出蝶豆花的最大吸收波長為 574nm，與國外研究報告的結果一致。證明此程式可測出精準的最大吸收波長，並且搭配自製 RGB LED 光度計可應用到許多方面。

陸、結論

一、高解析度樂高手機光譜儀：

- (一) 本實驗先探討製作良好手機光譜儀之各種變因，接著秉持環保再生的觀念，利用 LEGO digital designer 搭配二手樂高積木來設計光譜儀本體，利用二手 DVD-R 製作高解析度光柵，成功自製光解析度手機光譜儀，可清楚看見省電燈泡中汞光譜中之雙黃線。搭配 ImageJ 軟體分析蝶豆花光譜照片，可準確做出吸收光譜圖，用於定性分析。
- (二) 利用最大吸收波長處各濃度標準品標準之吸光值製作檢量線，即可算出待測物濃度，用於定量分析。

二、Arduino SMD RGB LED 光度計：

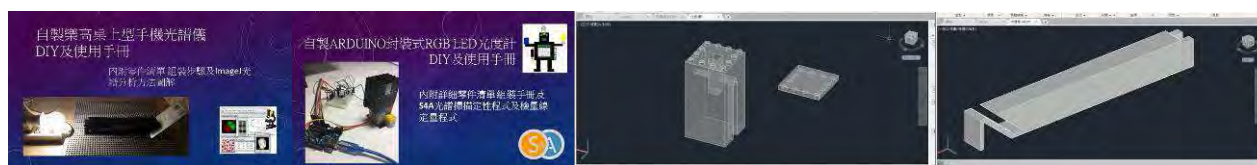
- (一) 本實驗秉持低成本的宗旨，利用二手樂高積木、Arduino 板、SMD RGB LED 及光電二極體成功自製光度計。
- (二) 本儀器測出之電壓值與自定義之透光率 t ，皆與蝶豆花液濃度成反比；比例電壓下降值和自定義之吸光度 a ，皆與濃度成正比， R^2 都非常近 1，表示有良好的線性關係，可準確測出蝶豆花液之濃度。
- (三) 本儀器與 SP-8001 相比較，測試結果相近，檢量線 R^2 值皆趨近 1，可用來做準確的定量分析。
- (四) 實驗結果顯示，DPPH 對綠光的吸收最強，與其最大吸光值 517nm(綠光範圍)相符，利用綠光 LED 確實可測定蝶豆花的抗氧化能力。

三、 Arduino SMD RGB LED 光度計之 S4A 自動化模組：

(一) 定性模組：將波長換算 RGB 值內建，設定 10nm 及 2nm 的波長間隔，便可自動換算並亮出各波長之色光，並設計精簡的程式迴圈，來自動比較各波長之電壓下降值，即可得到待測物最大吸收波長，作為定性之用。本模組測出的蝶豆花最大吸收光譜與國外研究報告結果相同。

(二) 定量模組：將檢量線計算公式內建，使用者只需輸入最大吸收波長及標準品濃度，便可進行比例電壓測定並自動計算出檢量線公式，自動測出待測溶液之濃度，作為定量之用。本模組以蝶豆花最大吸收波峰 574nm 及 620nm 之色光進行檢量線製作，相對誤差率在 1-5%，遠低於環保署實驗室檢量線查核辦法規定之 15%。

四、綜合上述結論，本研究設計的樂高手機光譜儀可做吸收光譜之定性及定量分析；自製 Arduino SMD RGB LED 光度計之效能及自行設計之 S4A 模組化軟體功能皆媲美高價分光光度計，但所需費用極少，且 LEGO 積木及 S4A 圖像化指令積木可親性高，非常適合學生學習及科學研究之用。**目前，我完成了 3D 列印版本的手機光譜儀及光度計的本體以及比色槽，不會受限於樂高積木尺寸且更耐用，新希望能推廣給更多人使用。**



柒、參考資料

一、王尊信(民 100 年)。光譜儀。民 106 年 6 月 7 日，取自：

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=18932>

二、光譜儀的光學基礎(民 104 年)。勢動科技。民 106 年 6 月 7 日，取自：

<http://www.acttr.com/tw/tw-report/tw-report-technology/96-tw-article-uv-vis-optical-basics.html>

三、簡志祥(104 年)。把白光變彩虹 光譜儀。科學少年。民 106 年 6 月 7 日，取自：

http://ys.ylib.com/upload/Mag_Catalog/12-052.pdf

四、游大立(民 95 年)。簡易摺紙光譜儀。科學教育月刊。民 106 年 6 月 7 日，取自：

[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/95\(286-295\)/295-PDF/04.pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/95(286-295)/295-PDF/04.pdf)

五、簡志祥(103 年)。手機光譜儀拍攝 LED 的發射光譜。阿簡的生物筆記。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://a-chien.blogspot.tw/2014/05/led.html>

六、益弘儀器股份有限公司(無日期)。可見光紫外光分光光譜儀。民 106 年 6 月 7 日，取自：

www.cmbb.ntou.edu.tw/Word/download/113-2.ppt

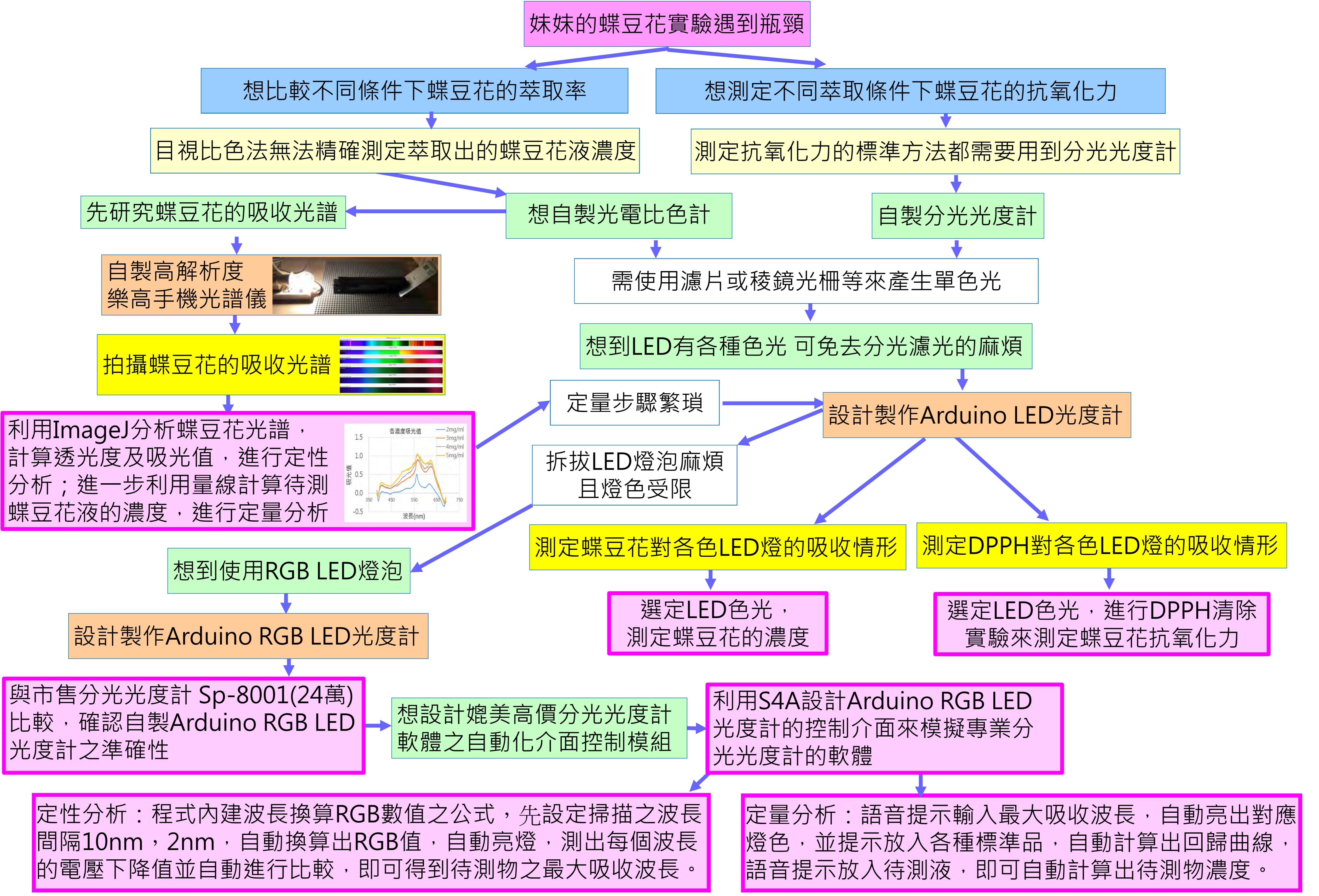
- 七、 Arduino Tutorial 9: Light Sensitive LED. (2000, May 09).DFRobot. Retrieved June 07, 2017, from <https://www.dfrobot.com/blog-611.html>
- 八、 Mahmud Shehu AHMED, Murtala B. Z. ADAMU, & Jonathan G. KOLO.(no date). Design and Construction of a Remote Controlled Power Supply Unit. Retrieved June 07, 2017, from http://js.academicdirect.org/A11/041_050.htm
- 九、 Photoconductive 光導型光電探測器。(無日期)。先鋒科技。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://www.teo.com.tw/prodDetail.asp?id=369>
- 十、 微弱光信號前置放大電路設計。(民 103 年)。研發互助社區。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://cocdig.com/docs/show-post-9556.html>
- 十一、 Photodiode detectors. Retrieved June 07, 2017, from <https://www.slideshare.net/wtyru1989/lect12-photodiode-detectors>
- 十二、 Fiber optics photo diode module. Retrieved June 07, 2017, from <https://www.pantechsolutions.net/fiber-optics-tutorials/fiber-optics-photo-diode-module>
- 十三、 太陽能電池(無日期)。金華成金屬工程有限公司。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://www.jhsolar.com.tw/jhc/know/index.html?subfun=3>
- 十四、 光電式感測器(無日期)。民 106 年 6 月 7 日，取自：http://eshare.stust.edu.tw/EshareFile/2011_6/2011_6_9ebc0096.pdf
- 十五、 Haiyan(民 101 年)。光電池。中文百科在線。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?zh=zh-tw&lid=244933>
- 十六、 光伏探測器的偏置電路。(無日期)。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://jpkc2010.nudt.edu.cn/gdjs/kechengjingjiang/0441.htm>
- 十七、 Cooper Maa。(民 102 年)。Arduino 入門教學(8)-使用光敏電阻控制 LED 的開關。民 106 年 6 月 7 日，取自：<http://programmermagazine.github.io/201308/htm/article1.html>
- 十八、 Diffraction grating. Retrieved June 07, 2017, from <http://www.calctool.org/CALC/phys/optics/grating>
- 十九、 Microsoft Excel and OpenOffice Calc Versions. (2016, January). Animated Diffraction grating. Retrieved June 07, 2017, from <https://terpconnect.umd.edu/~toh/models/DiffractionGrating.html>
- 二十、 Light sensors. Retrieved June 07, 2017, from http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html
- 二十一、 Jeff (2013, April 4), IR photodiode circuit schematic. Retrieved June 07, 2017, from <http://www.fiz-ix.com/2013/04/ir-photodiode-circuit-schematic/>

- 二十二、 Calculating output voltage and current of photodiode for input towards ADC. Retrieved June 07, 2017, from <https://electronics.stackexchange.com/questions/153710/calculating-output-voltage-and-current-of-photodiode-for-input-towards-adc>
- 二十三、 結型光電探測器。(無日期)。民 106 年 6 月 7 日，取自：
<http://slidesplayer.com/slide/11333884/>
- 二十四、 環境檢驗檢量線製備及查核指引。(民 93 年)。行政院環境保護署。民 106 年 6 月 7 日，取自：
<http://www.rootlaw.com.tw/LawArticle.aspx?LawID=A040300081014000-0931004>
- 二十五、 Dragos MIHAI. (2007). From wavelength to RGB filter. U.P.B. Sci. Bull. , Series D, Vol. 69, No. 2. Retrieved June 07, 2017, from https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full49129.pdf
- 二十六、 Pat M. LEE(2011). Thermal degradation of blue anthocyanin extract of clitoria ternatea flower. 2011 2nd international conference on biotechnology and food science IPCBEE vol. 7. Retrieved June 07, 2017, from <http://www.ipcbee.com/vol7/12-ICBFS2011S035.pdf>

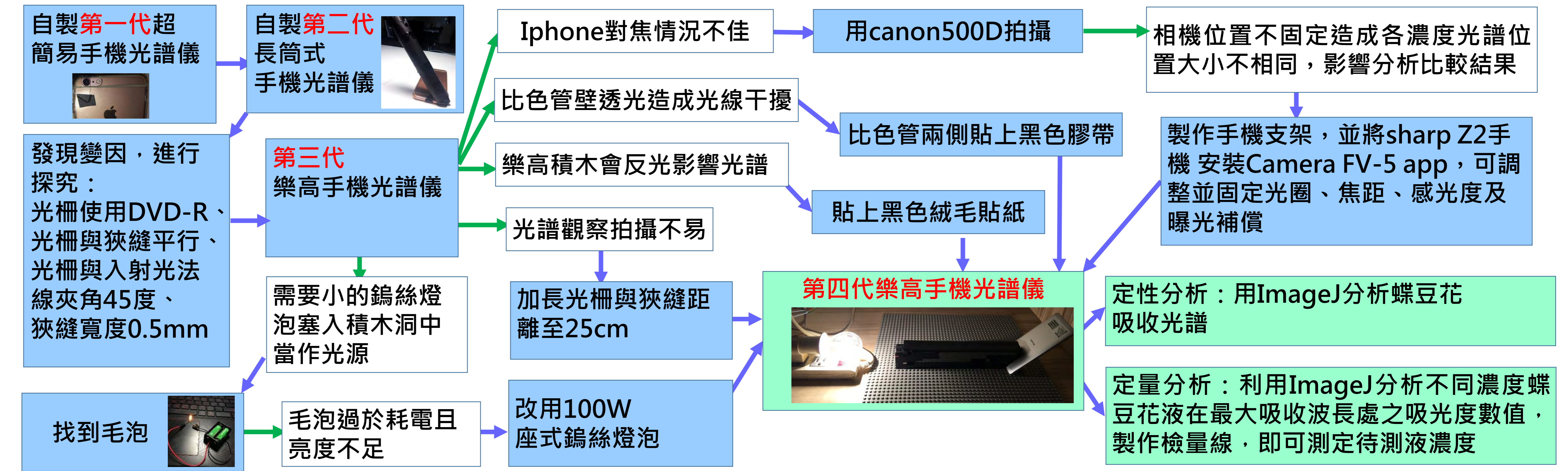
【評語】 080801

1. 自製手機光譜儀及光度計及編寫自動化控制介面，可測出蝶豆花液濃度，值得鼓勵。
2. 建議宜對於相關原理與數學進行理解,例如:光柵繞射方程式,其中的三角函數與入射反射的條件,才能做正確的計算與分析。

壹、摘要



貳、樂高手機光譜儀改良過程



一. 探討製作良好光譜儀的決定因素：

1. 比較以DVD-R及CD-R製作光柵效果：

DVD-R製作(槽距=740nm;密度1350/mm)	CD-R製作(槽距=1600nm;密度625/mm)	討論
		由公式 $m\lambda = d\sin\theta$ 可知， d 和 $\sin\theta$ 成反比，因CD-R凹槽間距較大(d 較大)，導致 $\sin\theta$ 較小，光譜距離較密，譜線解析度比較低，以DVD-R製作則光譜解析度較高。

2. 比較不同狹縫方向對光譜的影響

討論：狹縫與光柵方向平行時，光譜較寬，較易觀察

	光柵和狹縫平行	光柵和狹縫垂直	光柵和狹縫成45度角	
光譜				
狹縫				

3. 比較不同狹縫與光柵法線夾角的對光譜清晰度之影響

討論：CD-R光柵以20度左右為最佳，DVD-R光柵以45度左右為最佳

夾角	0度(不易觀察)	20度	30度	45度
CD-R 光譜				
DVD-R 光譜				

接近CD-R光柵分光後第一級繞射光譜綠光位置(19.8度)

接近DVD-R光柵第一級繞射光譜綠光位置(47度)

4. 探討狹縫寬度對光譜清晰度的影響

狹縫寬度	0.50mm	0.75mm	1.00mm
狹縫及光譜照片			
光譜分析	有清楚汞黃色雙線，亮度適中	黃色雙線有點模糊	黃色雙線糊在一起了
討論	狹縫愈寬亮度愈高，狹縫愈窄解析度愈高，0.50mm是不錯的選擇。		

二. 自製樂高桌上型手機光譜儀：

1. 樂高桌上型手機光譜儀設計與拍攝省電燈泡結果

設計圖	兩側管壁	狹縫	比色管槽	手機支架	光柵黏貼處	無蝶豆花液：汞光譜577、579nm 黃色雙線
						 加蝶豆花液：可看見橘光及黃光處被吸收

2. 用ImageJ軟體分析蝶豆花吸收光譜

光譜圖放入

得到透光率

利用計算功能

得到吸光度

利用excel作圖

波長(nm)	2mg/ml	3mg/ml	4mg/ml	5mg/ml
562	0.5057	0.8423	1.0170	1.0158
563	0.5008	0.8712	1.0351	1.0237
564	0.4699	0.8694	1.0226	1.0487
565	0.4250	0.9157	1.0376	1.0693
620	0.3498	0.7025	0.8037	0.8741
621	0.2356	0.7283	0.8174	0.8752
622	0.2343	0.7283	0.8058	0.8742
623	0.2303	0.7104	0.8082	0.8809
624	0.2287	0.7093	0.7924	0.8975

Figure 1. UV-Vis absorption spectrum of CTAE (0.40 mg/ml) in aqueous solution (pH 5.8)

- 使用plot profile功能列出數據貼到excel內，再利用省電燈泡的校正公式將像素換算成波長值，作出各濃度波長與透光率、吸光值之列表。
- 做出各濃度蝶豆花光譜波長與吸光值的xy散佈圖，可發現蝶豆花在可見光範圍有兩個吸收峰，分別是565及621nm，與國外論文蝶豆花的最大吸收峰574及619nm非常相近。
- 自製樂高光譜儀加上ImageJ軟體分析的方法可準確做出吸收光譜圖，用於定性分析。
- 拍攝溶劑(水)、各濃度標準品及待測樣品之光譜，並分析計算其吸光值，利用最大吸收波長處各濃度標準品標準之吸光值製作檢量線，即可算出待測物濃度，用於定量分析。

參、Arduino RGB LED光度計電路選擇及設計改良過程

一、電路設計實驗

步驟	模式	光敏電阻	光電二極體光導模式	光電二極體光伏模式	討論
利用Circuitlab網站畫電路圖					(1) 光敏電阻價格便宜，但反應速度慢，易受環境干擾。當光的強度很小時，導電度變化很小，且線性不佳。 (2) 光電二極體光導模式反應速度快，但有暗電流，所以雜訊較大。 (3) 光電二極體光伏模式穩定度高，線性良好，因此決定使用光伏工作模式來製作光度計。
用fritzing軟體畫出接線圖並實際接線測試					
實驗結果					

二、改良過程

製作Arduino LED光度計 (無OPA版)

電壓數值過小

製作Arduino LED光度計 (OPA)

拆拔LED燈泡麻煩且燈色受限

使用插鍵式RGB LED光度計 (需搭配電阻)

混色性差且不方便配置在比色管槽內

設計製作封裝式SMD RGB LED光度計

三、有OPA版Arduino LED光度計測定不同濃度蝶豆花液：(100%指3g乾燥蝶豆花配200ml水，再以其稀釋)

	水	25%	50%	75%	100%
黃	685	650	630	607	587
紅	771	720	689	663	643
藍	774	736	719	695	677
綠	767	732	707	681	659

Y-axis: 電壓值 (Voltage)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

Y-axis: 電壓下降值 (Voltage Drop)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

相對電壓下降值 = 試樣相對電壓值 - 溶劑相對電壓值	本儀器測出的試樣透光率 t = 試樣測出的相對電壓值 / 溶劑測出的相對電壓值	本儀器測出的試樣吸光值 a = -log ₁₀ t			
水	25%	50%	75%	100%蝶豆花液	
黃	685	650	630	607	587
相對電壓下降值	35	55	78	98	
透光率(t)	0.9489	0.9197	0.8861	0.8569	
吸光值(a)	0.0228	0.0364	0.0525	0.0670	

Y-axis: 電壓值 (Voltage)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

Y-axis: 電壓下降值 (Voltage Drop)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

Y-axis: 透光率 (Transmittance)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

Y-axis: 吸光值 (Absorbance)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

四、檢測蝶豆花之抗氧化力

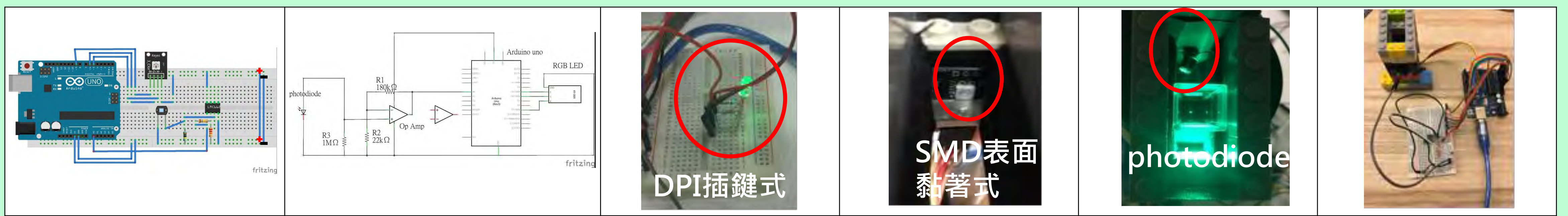
電壓	酒精	DPPH	相對電壓下降值
黃	727	665	62
藍	812	727	85
紅	804	739	65
綠	791	666	125
白	790	716	74
紫	832	790	42

Y-axis: 相對電壓上升值 (Relative Voltage Increase)
X-axis: 蝶豆花液濃度 (mg/ml)

濃度	綠光電壓	相對電壓上升值
100%	714	61
75%	700	47
50%	693	40
25%	687	34
DPPH	653	0

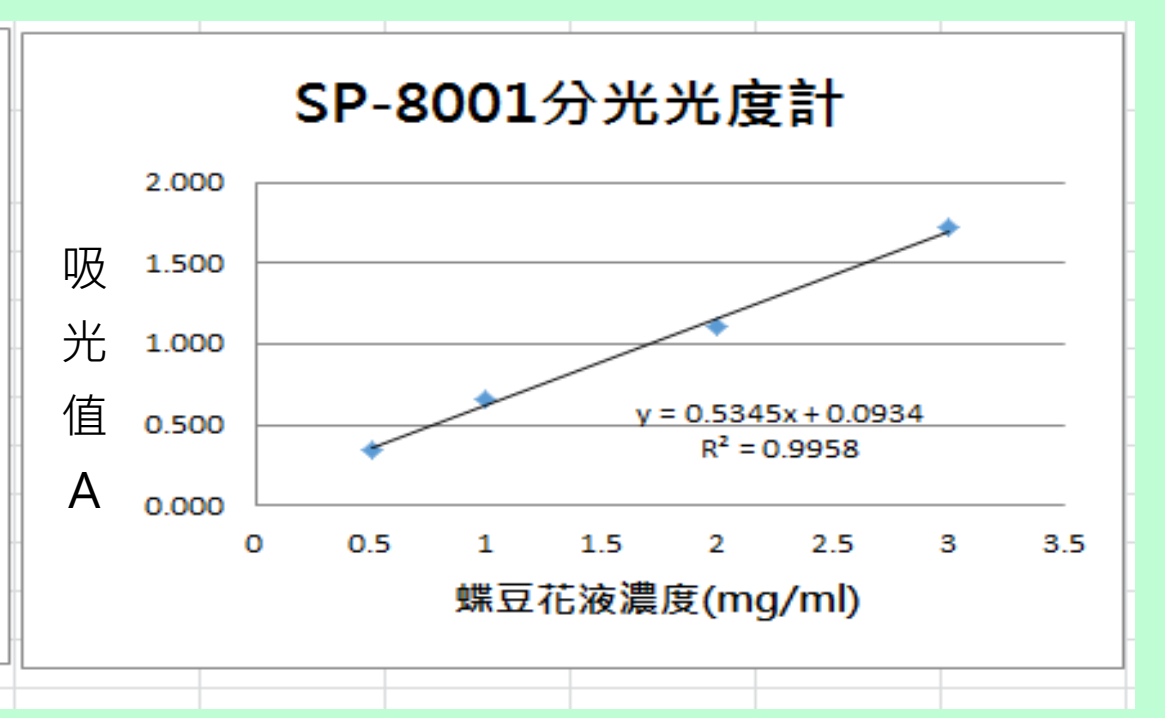
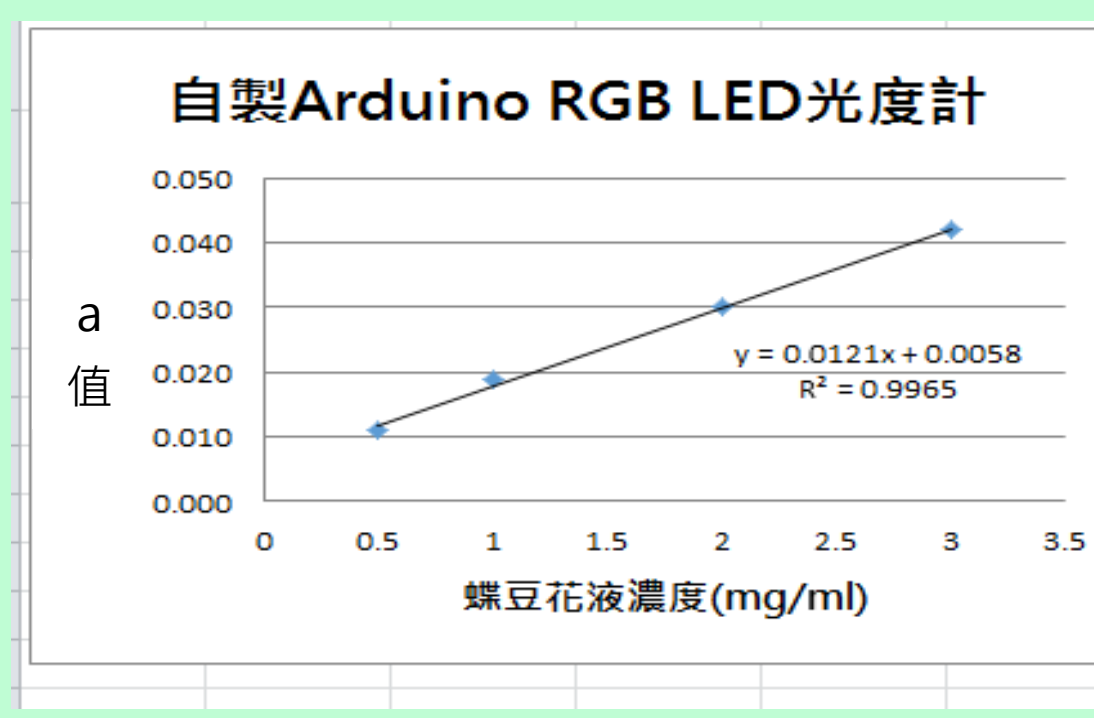
五. 自製Arduino RGB LED光度計

1. 電路設計圖及實體圖片



2. 與市價24萬 SP-8001分光光度計以同一組試樣測量做比較：

		自製光度計			SP-8001
		電壓值	t值	a值	吸光值A
水		689			
以萃取之蝶豆花膠泡製各濃度蝶豆花液	0.5mg/ml	671	0.974	0.011	0.352
	1mg/ml	658	0.955	0.019	0.664
	2mg/ml	642	0.932	0.030	1.112
	3mg/ml	625	0.907	0.042	1.720



肆、自製光度計軟體設計流程

待定量物質不知最大吸收波長

輸入已知最大吸收波長值(nm)

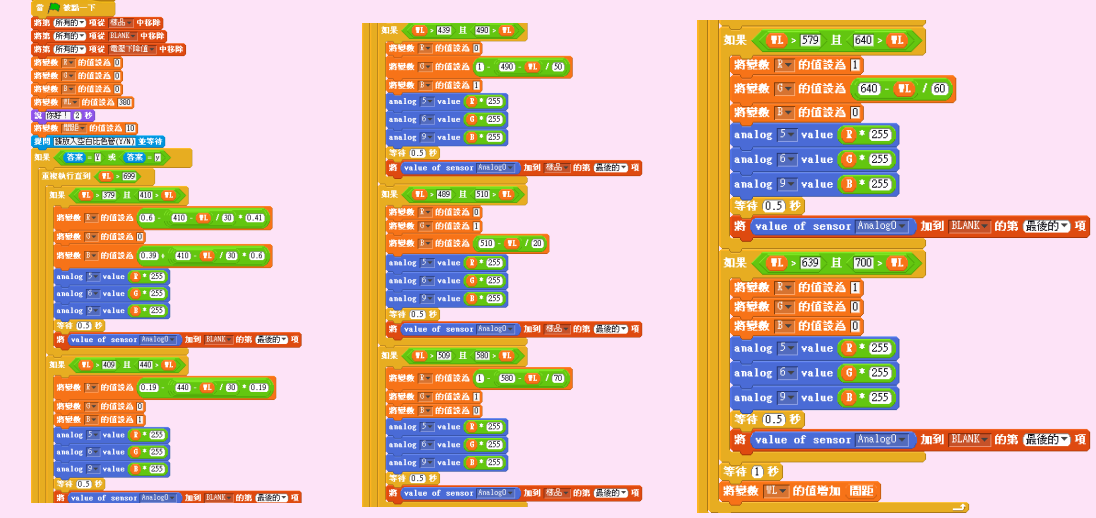
初階版：

利用程式測定紅藍黃綠各色光之電壓下降值找出最佳色光



進階版：

輸入欲掃描之波長間隔，自動以各波長之RGB亮燈測量，並比較找出電壓下降最大的波長，即為該物質的最大吸收波長



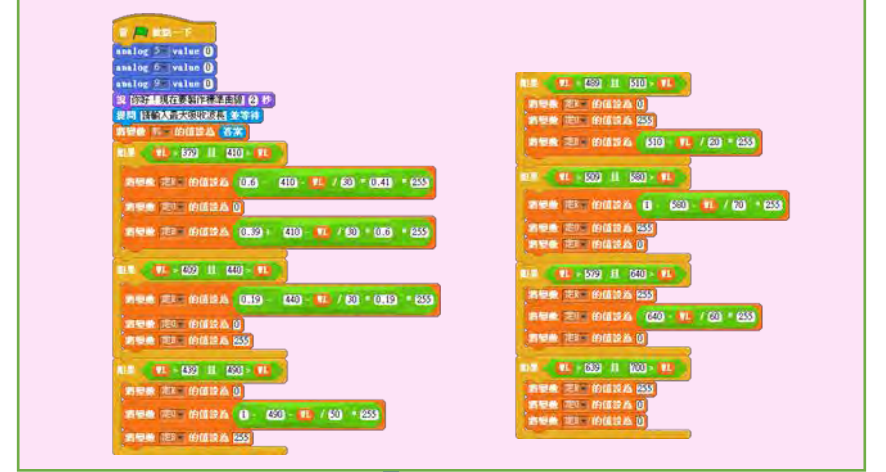
初階版：

由已知各色之波長範圍決定RGB值亮出燈色



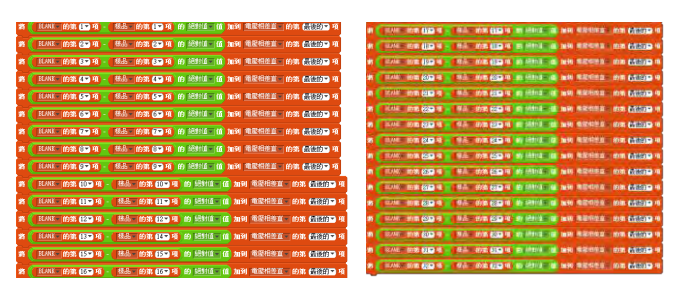
進階版：

將波長值換算RGB值之公式內建在程式中



程式過長易當機版：

比較相對電壓下降值時，組數過多而當機



比較迴圈精簡版：

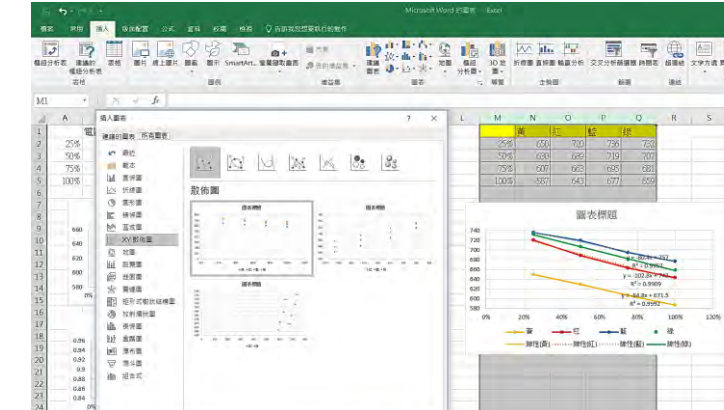
內建比較迴圈



亮燈偵測標準品及待測品之電壓

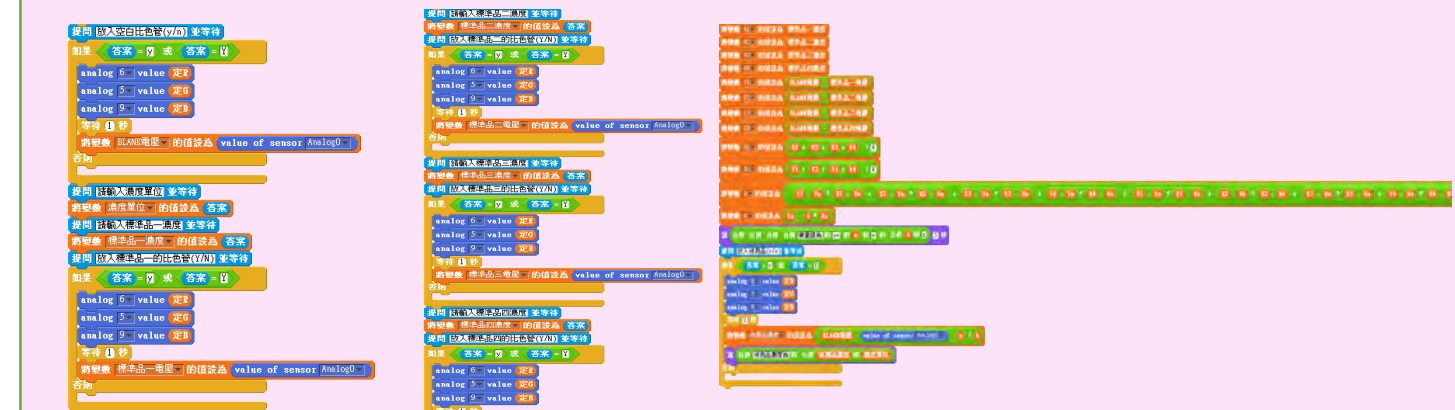
初階版：

相對電壓值輸入EXCEL中製作檢量線計算待測物濃度



進階版：

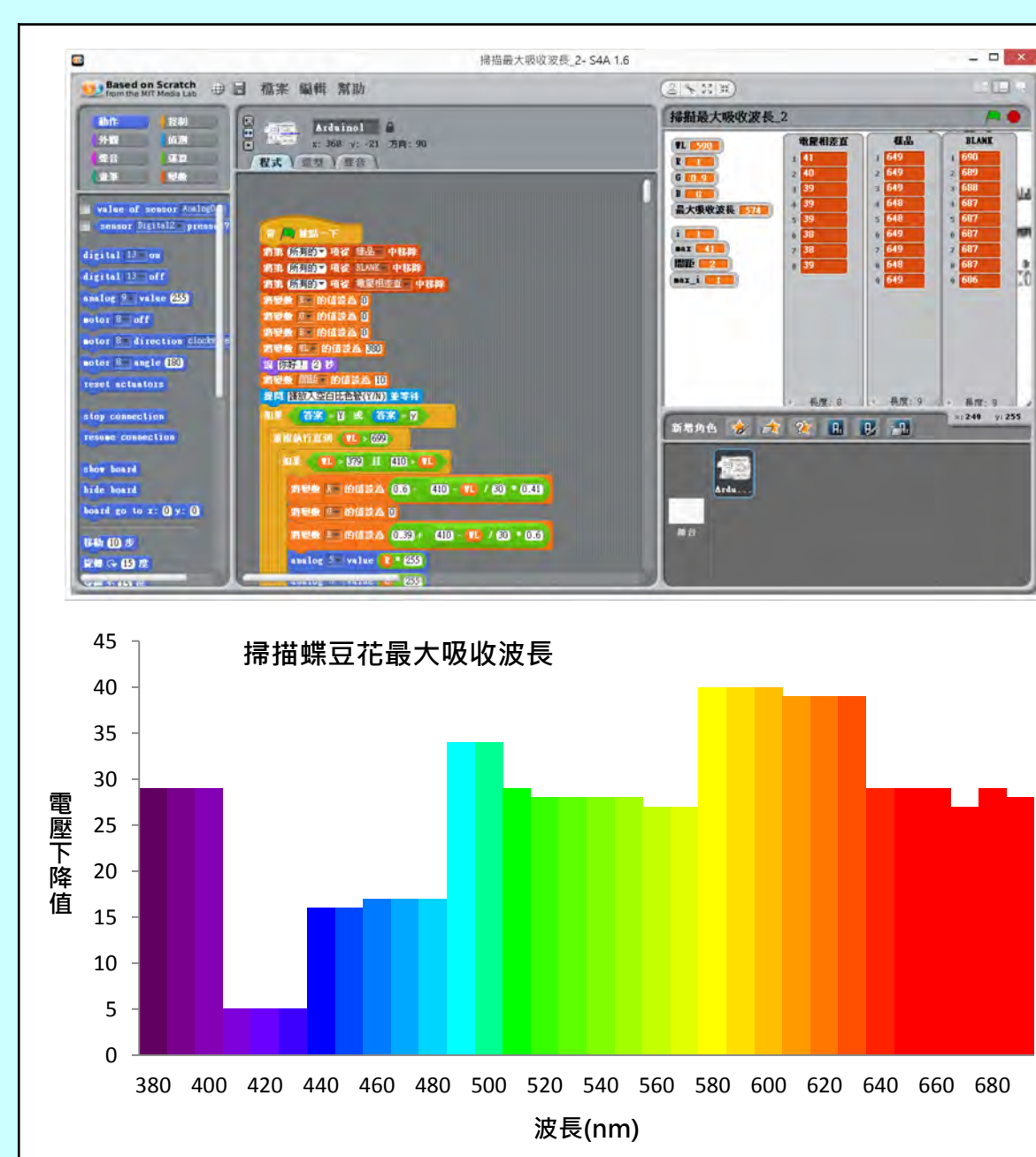
內建檢量線係數計算公式自動製作檢量線並計算待測物濃度



光譜掃描模組
定性分析

濃度測定模組
定量分析

一、光譜掃描模式定性分析實驗結果



本光譜掃描模組測出蝶豆花的最大吸收波長為574nm，與國外研究報告的結果一致

二、濃度測定模組定量分析結果



已知待測品濃度為2mg/ml，以第一個吸收波峰574nm為最大吸收波長，四個標準品為0.8、1.5、2.5、3.5mg/ml，測定出的濃度為2.1mg/ml，相對誤差率為5%

已知待測品濃度為2mg/ml，以第二個吸收波峰620nm為最大吸收波長，四個標準品為0.5、1、1.5、3mg/ml，測定出的濃度為2.025mg/ml，相對誤差率為1.25%

根據環保署環境檢驗實驗室檢量線查核辦法，分光光度法相對誤差宜在±15%以內

伍、結論

一. 高解析度樂高手機光譜儀：

1. 本實驗先探討製作良好手機光譜儀之各種變因，接著秉持環保再生的觀念，利用LEGO digital designer搭配二手樂高積木來設計光譜儀本體，利用二手DVD-R製作高解析度光柵，成功自製光解析度手機光譜儀，可清楚看見省電燈泡中汞光譜中之雙黃線。搭配ImageJ軟體分析蝶豆花光譜照片，可準確做出吸收光譜圖，用於定性分析
2. 利用最大吸收波長處各濃度標準品標準之吸光值製作檢量線，即可算出待測物濃度，用於定量分析。

二. Arduino SMD RGB LED光度計：

1. 本實驗秉持低成本的宗旨，利用二手樂高積木、Arduino板、SMD RGB LED及光電二極體成功自製光度計。
2. 本儀器測出之相對電壓值與自定義之透光率t，皆與蝶豆花液濃度成反比；相對電壓下降值和自定義之吸光度a，皆與濃度成正比，R²都非常近1，表示有良好的線性關係，可準確測出蝶豆花液之濃度。
3. 本儀器與SP-8001相比較，測試結果相近，檢量線R²值皆趨近1，可用來做準確的定量分析。
4. 實驗結果顯示，DPPH對綠光的吸收最強，與其最大吸光值517nm(綠光範圍)相符，利用綠光LED確實可測定蝶豆花的抗氧化能力。

三. Arduino SMD RGB LED光度計之S4A自動化模組：

1. 定性模組：將波長換算RGB值內建，設定10nm及2nm的波長間隔，便可自動換算並亮出各波長之色光，並設計精簡的程式迴圈，來自動比較各波長之電壓下降值，即可得到待測物最大吸收波長，作為定性之用。本模組測出的蝶豆花最大吸收光譜與國外研究報告結果相同。
2. 定量模組：將檢量線計算公式內建，使用者只需輸入最大吸收波長及標準品濃度，便可進行電壓測定並自動計算出檢量線公式，自動測出待測溶液之濃度，作為定量之用。本模組以蝶豆花最大吸收波峰574nm及620nm之色光進行檢量線製作，相對誤差率在1-5%，遠低於環保署實驗室檢量線查核辦法規定之15%。

綜合以上三點結論，本研究設計的樂高手機光譜儀可做吸收光譜之定性及定量分析；自製Arduino SMD RGB LED光度計之效能及自行設計之S4A模組化軟體功能皆媲美高價分光光度計，但所需費用極少，且LEGO積木及S4A圖像化指令積木可親性高，非常適合學生學習及科學研究之用。

目前，我完成了手機光譜儀和光度計本體及其比色槽之3D列印設計圖，印製出的模型，不會受限於樂高積木尺寸且更耐用，希望能推廣給更多人使用。

