

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

032908

應用 Arduino 開發板探討溫室效應

學校名稱：桃園市立楊梅國民中學

作者：	指導老師：
國一 黃元廷	陳炫勳
國一 楊惠羽	高蕙玲

關鍵詞：Arduino 應用、溫室效應、環境科學

## 摘要：

「溫室效應」會造成地球暖化，使地球環境惡化。但「溫室效應」並非顯而易見，因此不易理解，現在結合自然科學與科技課程，於微型玻璃屋中，探討二氧化碳對溫室效應的影響。

首先在**玻璃屋外**進行「空白試驗」，再於**玻璃屋內**進行溫室實驗。打氣幫浦輸出的氣體經由三通管控制**「繞流」(Bypass)**，通過氯化鈣去除水氣，約略可視為**「零空氣」(Zero Air)**，以人工光源照射充滿「零氣體」的玻璃屋作為「對照組」，再比較充滿不同濃度的二氧化碳氣體作為「實驗組」，應用**Arduino 開發板**、感測器、液晶螢幕與記憶卡，能即時顯示數據、記錄資料，再以**Excel**繪製圖表，也可連接電腦進行現場**環境監測**。

從數據分析，「溫室效應」確實發生，所以應該儘量減少二氧化碳排放至大氣中。

## 壹、前言

### 一、研究動機

在國小自然課程中，曾經聽過「溫室效應」這個名詞，也聽說「溫室效應」會造成地球暖化，進而形成極端氣候，將使得地球環境惡化，但當時其實並不是非常了解。升到國中後，自然課程第一章「生命世界與科學方法」，內容包括「多彩多姿的生命世界」、「探究自然的科學方法」、「進入實驗室」等，老師也提到溫室效應，而且展示「溫室模型」，這組溫室模型外觀看起來像是玻璃做的薑餅屋，但有點破損，老師則說會再找時間處理。

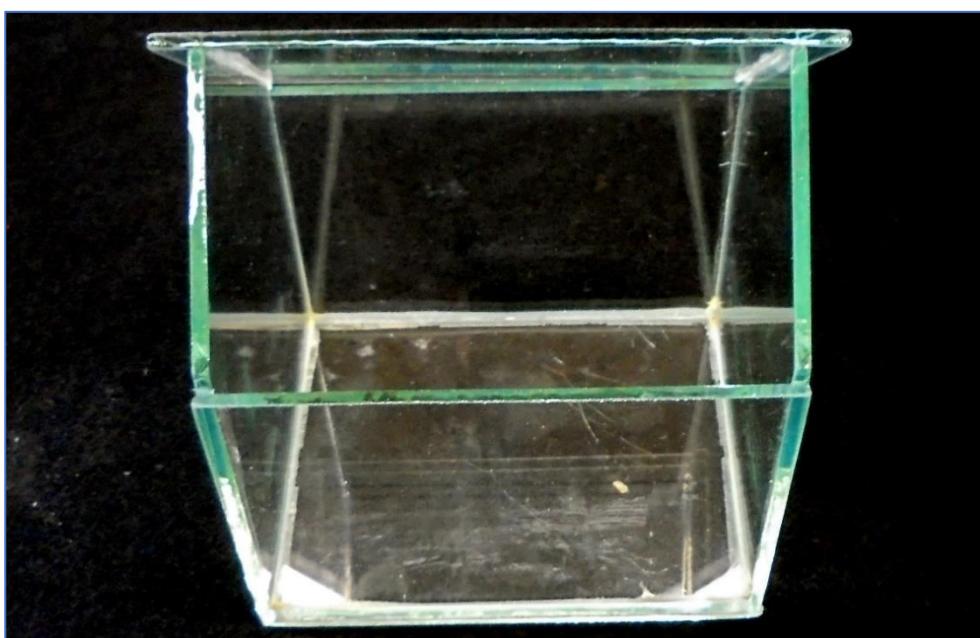


圖1 破損玻璃屋

後來我們幾位同學被老師找去當實驗室公差，負責協助自然實驗器材的發放與處理，又再次看到這組「溫室模型」，實在很好奇，只是隔著玻璃罩，這樣就會造成暖化嗎？

而在生活科技課程的導論中，科技老師曾經提說「……現在科技普及，應用開發板與感測器可以創作開發許多專案……」。科技老師同時身兼電腦老師，並經常應用 Micro : bit 開發板與 Arduino 開發板進行開發，例如溫溼度計、記錄器等都是強項，也熟悉雷射切割機與3D 列印機的操作，在生活科技課程中經常給我們許多啟發與指引。

實驗室公差從有話不說到無所不談，執行公差勤務的時候，總是天南地北的聊起來。後來某次空檔中，開始協助自然老師處理破損的玻璃屋模型，由於我們是實驗室公差，因此很清楚實驗室內有哪些物資，實驗室內有玻璃片，只是需要再加工，自然而然便聯想到生活科技教室，於是我們就帶著破損的玻璃屋去尋找科技老師。

科技老師看到破損的玻璃屋，隨手拿起一片長方形的壓克力板，套量了一下，並指示說切割適當大小、固定上去後就可以了。同時問道：「你們要鑽洞、套入溫度計測量溫度嗎？這是溫室效應的模型，對吧？你們是要作科展嗎？現在生活科技還可以應用開發板與感測器進行測量，不見得要使用傳統的酒精溫度計哦……」。

我們幾位實驗室公差就在科技老師的指導下，使用線鋸機切割透明壓克力板，嘗試去修復玻璃屋，同時也在思考，這個破損的玻璃屋能夠做出什麼樣的科展作品呢？如果真的要做科展，又要怎麼做呢？

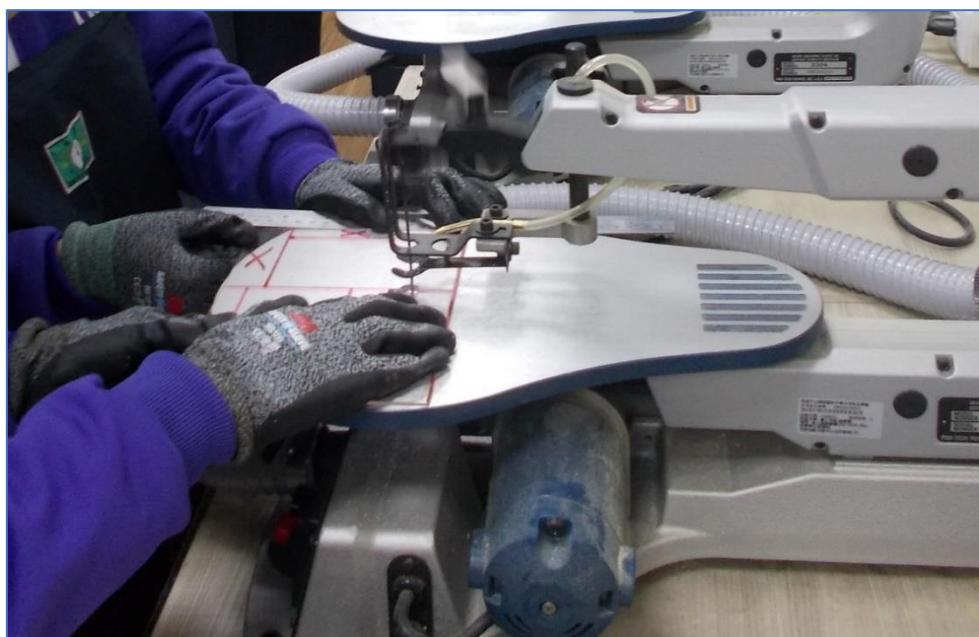


圖2 線鋸機切割透明壓克力板

科展能夠怎麼做呢？我們後來陸續問了老師許多關於科展的問題，越講越感興趣，只是還不知道要怎麼著手。後來自然老師聽到科技老師建議把玻璃屋發展成科展專題，也覺得似乎可以嘗試看看。

實驗室公差就在無所不談的聊天中，意外的開始修復玻璃屋，然後滿懷憧憬的去參加科展遴選，並順利的進入培訓團隊，而且在自然老師與科技老師的共同指導下，跨域開發科展專題，方向就是應用開發板與感測器來探討溫室效應，就這樣邊操作、邊修正、邊學習，開始了科展的研究探索旅程。

實驗室公差修復玻璃屋，過程中尋求指導，從此跨域開發科學展覽專題。

## 二、目的

1. 應用實驗室、科技教室與生活情境資源，創作組裝設備，驗證溫室效應。
2. 學習科學方法進行研究，獲取 Arduino 開發板、生活科技與環境科學等知能。

應用 Arduino 開發板、編寫程式、組裝器材、開發專題，驗證溫室效應理論。

## 三、文獻回顧

在種植農作物時，若需要維持較溫暖且恆定的生長環境，通常會特別蓋間「溫室」(Greenhouse)，避免溫度劇烈變化，地球大氣層也是類似概念。但不是每種氣體都有這種功用，常見的水氣、二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物和臭氧等都會造成溫室效應，因此也被稱作「溫室氣體」。溫室氣體對於地球上生命相當重要，若沒有這些溫室氣體存在，地表面的溫差就會變得非常劇烈。在過去的200萬年之間，雖然全球各地變暖的速率和時間點不太一樣，但大致而言，地球約需5000年才會變暖5度。如果觀察近代氣溫紀錄，可得知16~18世紀之間，溫度比較低，但進入到19世紀後，氣溫就有很明顯的上升趨勢。目前普遍認為是工業革命以來，由人為排放二氧化碳造成。

人類大量使用煤炭、石油等化石燃料，燃燒時產生二氧化碳便排放到大氣中。由於二氧化碳也是溫室氣體，於是大氣層吸收更多地球輻射，於是地球表面就變得越來越熱。但影響所及並不只有氣溫升高，南北極的冰棚和高緯度的冰川也正逐漸消退，許多原本覆蓋在冰之下的永凍土隨之暴露，大陸冰川加速融化連帶使得全球海平面以平均每年1.9公釐上升，可能淹沒沿海地區。除了地面上的冰，當海冰融化形成大量淡水，可能會使海洋環流的流速下降，進而減緩海洋環流傳輸熱量，引起更劇烈的氣候變化，形成極端氣候的現象。

### (參考文獻1)

「溫室氣體」(Greenhouse Gas，GHG)中，影響最顯著者為「水氣」( $H_2O$ )，所產生的溫室效應大約佔整體溫室效應的60~70%，其次是「二氧化碳」( $CO_2$ )，大約佔 26%。工業革命以來，人類燃燒化石燃料而使得二氧化碳含量急劇增加，近十年來增加約30%；其次是「甲烷」( $CH_4$ )，從飼養牲畜的糞便發酵、污水洩漏、稻田糞肥發酵等活動而產生；還有許多人類合成的，自然界原本不存在的氣體，例如「氟氯烷」(CFCs)。溫室氣體過度排放，增強了溫室效應，是造成全球暖化的主要原因，也是種全球性的污染，減少溫室氣體排放已成為世界各國的共識。於是聯合國發起，在日本召開會議，積極採取措施減少溫室氣體排放，會議中世界多國達成共識，制定關於氣候變化綱要公約的「京都議定書」，目標朝向「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水準，以保證生態系統的平滑適應、食物的安全生產和經濟的可持續發展」。

### (參考文獻2)

大氣中含量最高的氣體是「氮氣」與「氧氣」，在乾燥大氣中的含量分別為78%和21%，它們並沒有溫室效應。溫室效應是來自於那些更加複雜或不太常見的分子。水氣是最重要的溫室氣體，其次是二氧化碳。甲烷、氧化亞氮、臭氧和少量存在於大氣中的若干其他氣體也具有溫室效應。在潮濕的赤道地區，空氣中的水氣含量非常高，以致於溫室效應已經非常強烈，因此增加少量的二氧化碳或水氣，對於射向地面的紅外線輻射量只有很小的直接影響。但是在冷而乾的極地地區，增加很少量的二氧化碳或水氣則會產生巨大效應。

向大氣排放更多的二氧化碳會增強溫室效應，從而使地球氣候變暖。變暖的程度取決於各種反饋機制。例如，由於溫室氣體濃度增高，大氣變暖，大氣中的水氣含量也隨之增加，進而又增強了溫室效應。於是又引起了進一步的變暖，而水氣含量又接著增加，這是一種不斷自我增強的循環。水氣反饋的效應非常強，比起二氧化碳所引起的溫室效應增強量，由水氣所引起的溫室效應增強量大約是兩倍的程度。

### (參考文獻3)

美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)表示，目前測得大氣中平均二氧化碳濃度為419.13ppm，相比2020年5月高出1.82 ppm，此數值比工業化之前的濃度280 ppm還要高出約50%。

每年五月，二氧化碳濃度會在北半球植物開花前達到最高點，之後植物將自空氣中吸入大量二氧化碳，藉由光合作用，發育形成根、莖、葉、果實、種子等。不過，這種緩解只是暫時的，因為運輸、電力、石油和天然氣燃燒煤炭所產生的二氧化碳排放量遠遠超過了植物可以消耗的吸收量，從而每年都將溫室氣體濃度推向新高記錄。

氣候變遷不僅僅是提高溫度。研究也顯示，它使極端天氣例如風暴、野火、洪水和乾旱變得更加頻繁、而且越趨嚴重，並導致海平面上升，甚至有健康影響。雖然COVID-19大流行造成的城市封鎖使交通、旅行和其他活動的碳排放減緩約7%，但因為二氧化碳可以在空氣中停留1000年或更長時間，因此一兩年排放量的變化並不能產生重大影響。

近10年的增長速率也創下歷史新高，現在的增長速率高達每年上升2.4 ppm。二氧化碳在數十年內劇烈上升是非常不尋常的。回顧地球在過上一個冰河時期時，二氧化碳增加了約80ppm，這段過程花了6000年之久；與此相比，從1979年到2021年之間，人們僅用了42年的時間就將二氧化碳濃度增加了相同數量，將這個世界推向了難以挽回的地步。

### (參考文獻4)

聯合國報告指出，世界正處於升溫 $2.7^{\circ}\text{C}$ 的災難性道路，全球氣溫應保持在比工業化前高 $1.5^{\circ}\text{C}$ 以下，才能避免氣候危機造成的更嚴重後果。甲烷是僅次於二氧化碳的第二大量溫室氣體，儘管二氧化碳在大氣中停留的時間更長，但甲烷在大氣中吸收熱量的能力約是二氧化碳的25倍，隨著地球迅速暖化，科學家表示同時也需要迅速減少甲烷排放。

除了吸熱能力很高，甲烷還有個特點讓科學家相信減少甲烷排放是減緩全球暖化最快速的方法。如果全球明天就停止排放二氧化碳，由於二氧化碳在大氣中停留時間長，全球氣溫在多年內仍然不會明顯降溫，但甲烷在大氣中停留時間則約12~16年，因此減少甲烷排放在短期內抑制溫室效應的暖化，效果會更顯著。甲烷是天然氣主要成分，在美國主要解決的就是洩漏問題。

### (參考文獻5)

## 貳、研究設備及器材

經過多次與自然老師和科技老師共同討論後，決定科學展覽研究專題名稱為「**應用 Arduino 開發板探討溫室效應**」，並區分基本設備、電腦設備與移動設備等三類設備器材，基本設備能即時顯示數據、記錄資料，應用電腦設備則可進行圖表繪製、現場監測，移動設備則是提供獨立電源的運作模式。

**表1 基本設備及器材說明**

名稱	說明
開發板	Arduino UNO 開發板 R3版，搭載 XD-05數據記錄器模組與 SD 記憶卡。
電路麵包板	長 85mm×寬55mm×高8.5mm 、400孔、透明款、附泡棉雙面膠。
0.5L 密封筒	寶石牌 Y-321佳珍密封筒，黃蓋款、紅蓋款各1個，並搭配「封口膜」。
注射針筒	25mL 塑膠製針筒、針筒外側黏貼「鹽酸溶液」，針筒內倒入濃鹽酸。
點滴輸液套件	醫療套件，剪去穿刺器與滴斗，下移流量調節器，裁成30cm 長矽膠管。
醫療用三通管	ABLE 艾貝爾醫用三通閥、附旋塞、輸液管注射接頭轉換器。
逆止閥塞	7號矽膠塞，以5mm 手動鑽孔器貫穿，置入口徑5mm 黑色瓣膜單向閥。
U型馬達支架	塑膠製夾徑25mm 、恰可固定針筒，附 M3螺絲×10mm 、含螺母、墊片。
魚缸打氣幫浦	TEICO 帝王牌單孔微調2000型，附內徑3mm×外徑5mm×20cm 長矽膠管。
矽膠管	內徑5mm×外徑8mm×50cm 長矽膠管，依需求剪裁成數段連接管套用。
積木組	Gigo 智高積木，基底板1片、短板材1片、長板材2片，組成點滴支架。
LCD 液晶螢幕	1602型藍屏面板、附 M3塑膠螺絲×10mm 、螺母、螺帽，固定面板用。
熱熔膠	澆灌 U型馬達支架與智高積木空隙、固定三通管、密封玻璃屋等。
透明雙面黏膠	無痕奈米膠帶、可水洗、重複使用，充填縫隙以防止氣體洩漏。
感測器套件	DFRobot相容 MG811模組、奧松 DHT22溫濕度模組、龍戈電子 MQ5模組。
公母頭杜邦線	一公頭一母頭彩色杜邦線，連接感測器模組、電路麵包板與開發板。
束帶	短束帶：2.5mm×10mm 、長束帶：4×30mm，固定矽膠管與密封筒。
氣球	飛翔鶴1號3吋小氣球，白款、黃款各1個，用以判斷是否產生氣體。
鹵素燈具組	120V 、50W 鹵素燈泡，10公分內熱度可熔化蠟燭，充當作為人工光源。
藥品與試紙	碳酸鈣粉末、濃鹽酸、氯化鈣顆粒、氯化亞鈷試紙，並黏貼標籤辨識。

**表2 電腦設備及器材說明**

名稱	說明
筆記型電腦	筆記型電腦1台，已安裝 Arduino IDE 開發環境與 Parallel PLX-DAQ 程式。
USB 連接線	A型公頭對B型公頭，USB2.0以上相容規格之屏蔽傳輸線。

**表3 移動設備及器材說明**

名稱	說明
18650電池組	18650電池3顆，含3節電池座1組，附電源線及 DC2.1插頭，另帶充電器。
電池式打氣泵	WHALE 鯨魚牌 B100型、長13.5cm×寬8cm×高4.2cm 、裝1或2顆1號電池。

## 參、研究過程與方法

由文獻回顧中可以知道，最主要的溫室氣體是水氣，但是因為水氣可以凝結成水，所以環境中的水氣含量相較穩定，也不會出現其它溫室氣體的累積現象，而且水氣在環境中的循環非常迅速，從海洋湖泊等蒸發，再以雨雪形式沉降下來。因此現在討論溫室氣體時並不考慮水氣。現在討論的溫室氣體大多為二氧化碳及甲烷等其它氣體的排放。

另外也知道，二氧化碳在大氣中停留時間可以超過上千年，甲烷停留時間則約12~16年，因此減少甲烷排放在短期內抑制溫室效應的暖化，效果會更顯著。但自然老師告訴我們，甲烷的實驗室製法具有難度，以我們剛從國小升上來的狀況，實驗操作能力尚需磨練，可能難以勝任。實驗室中常以無水醋酸鈉( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )和鹼石灰( $\text{NaOH}$ 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 混合物)產出甲烷，還得使用排水集氣法收集，而且若是使用醋酸鈉晶體(含結晶水)或鹼石灰不夠乾燥，則幾乎無法產生甲烷氣體。所以自然老師並不建議讓我們製備甲烷。

自然老師只同意讓我們製備二氧化碳。在實驗室中通常以碳酸鹽加酸製備出二氧化碳，例如以碳酸鈣、大理石或石灰岩，若使用碳酸鈣粉末與濃鹽酸反應，速率太過劇烈，不便於收集，而濃鹽酸中的氯化氫氣體容易揮發出來，影響二氧化碳的純度，所以最後決定加入稀鹽酸作用，反應後並以向上排空氣法收集：



由於疫情關係，可能寒假無法到校使用實驗室器材，自然老師訓練我們使用生活器材來製備二氧化碳，取代實驗室設備。例如使用「點滴輸液套件」改造成「鹽酸滴入套件」，由於附流量調節器，可以慢慢滴入鹽酸溶液，控制二氧化碳濃度達到預計範圍內，對於還不熟悉操作技巧的我們特別有幫助。



圖3 鹽酸滴入套件

但老師指出這樣的設計有問題，注射針筒內的壓力無法與外界大氣壓力平衡。解決的方法很簡單，就是使用5mm手動鑽孔器鑽孔貫穿矽膠塞，針筒內外壓力就可平衡。後來測試還發現，若二氧化產生速率過快，也會反向灌進注射針筒內，解決的方法則是安裝控制單向輸入的「逆止閥」，氣體便僅能單向流通。



圖4 鹽酸滴入「逆止閥」零件

後來因為疫情加劇，寒假真的無法到校，實驗室內例如鑄鐵支架和玻璃燒杯都無法使用。於是「[鹽酸滴入套件](#)」的支架和反應槽便各有另類的設計，都使用生活器材來製作，例如支架利用「智高」(Gigo)積木組的基底板、短板材、長板材，以及25mm U型馬達支架、4×30mm 長束帶等，使用 M3螺絲組和熱熔膠加工固定，組成點滴支架。而這樣的設計反而方便拆裝與攜帶。

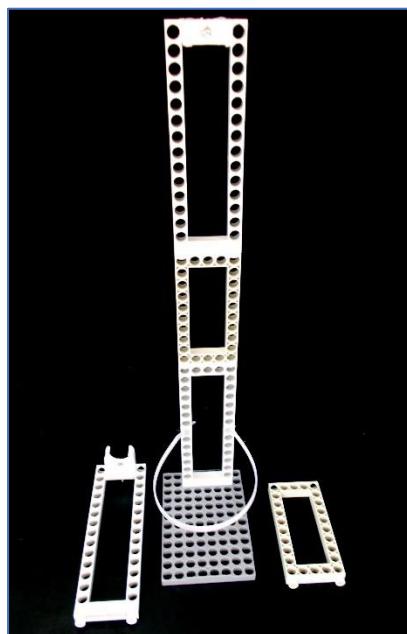


圖5 點滴支架

反應槽是取500mL 的塑膠密封筒，可以在生活百貨賣場中買到。塑膠密封筒內倒入碳酸鈣懸浮液，老師說碳酸鈣不溶於水，但鹽酸要作用時，有水存在反應會較好。密封筒的塑膠蓋還要鑽孔引流，要將反應產生的二氣化碳導入玻璃屋內進行溫室效應實驗，並於每次實驗完後，再用「[零空氣](#)」(*Zero Air*)沖洗反應槽。

「[零空氣](#)」又稱為「[零級空氣](#)」，是利用活性碳或氣體分子篩來濾除干擾物質，產生不含雜質之高純度氣體，用以校正儀器之零點或是配製各種不同濃度的標準氣體。零級空氣產生器則是產生零級空氣的設備，可針對不同類別分析儀器或不同分析濃度等級而產生不同濃度之標準氣體。所以零級空氣產生器必須定期使用經認證之零級鋼瓶氣體確認所產生氣體的乾淨程度。

我們剛剛升上來國中，還無法製作合格的零級空氣產生器，但要沖洗反應槽，立即想到魚缸用的打氣幫浦，同時也聯想起生物課本中所講述的「對照組」與「實驗組」等操作方法，要控制實驗條件，每次只改變一項變因。考慮控制條件，因此最後決定將塑膠蓋加工置入三通管如下圖設計，並固定小氣球顯示反應狀態。可以調整三通管控制「[繞流](#)」(*Bypass*)進行變因操作，概念上很容易理解。

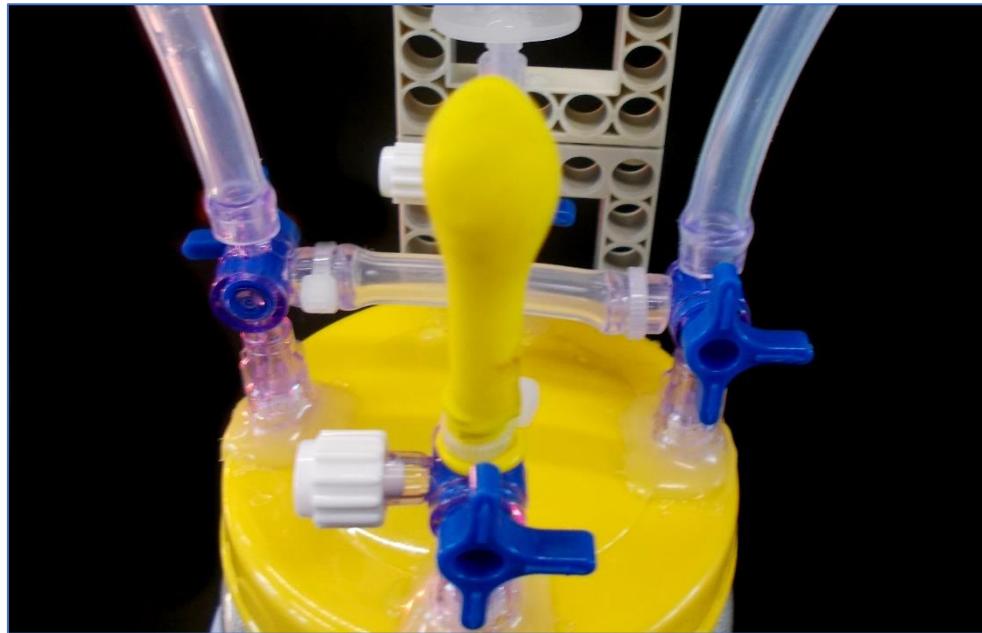


圖6 橋式三通管塑膠蓋

我們使用魚缸打氣幫浦做為推送動力，由右側矽膠管推送經過三通管，進入密封筒內，將產生的二氧化碳推送經過左側三通管，再經由矽膠管推送至玻璃屋。「鹽酸滴入套件」由後側經過三通管注入密封筒內，推送動力為大氣壓力經過「逆止閥」單向壓送，加上鹽酸溶液本身重量，經過流量調節器，鹽酸溶液便會一點一滴的流入密封筒內進行反應，要確認氣體是否產出，除了可以觀察液面的反應狀況外，我們還固定一顆小氣球以顯示狀態，可以更加確認密封筒內的氣體壓力情形，後續玻璃屋的氣體狀態也是使用氣球來顯示。

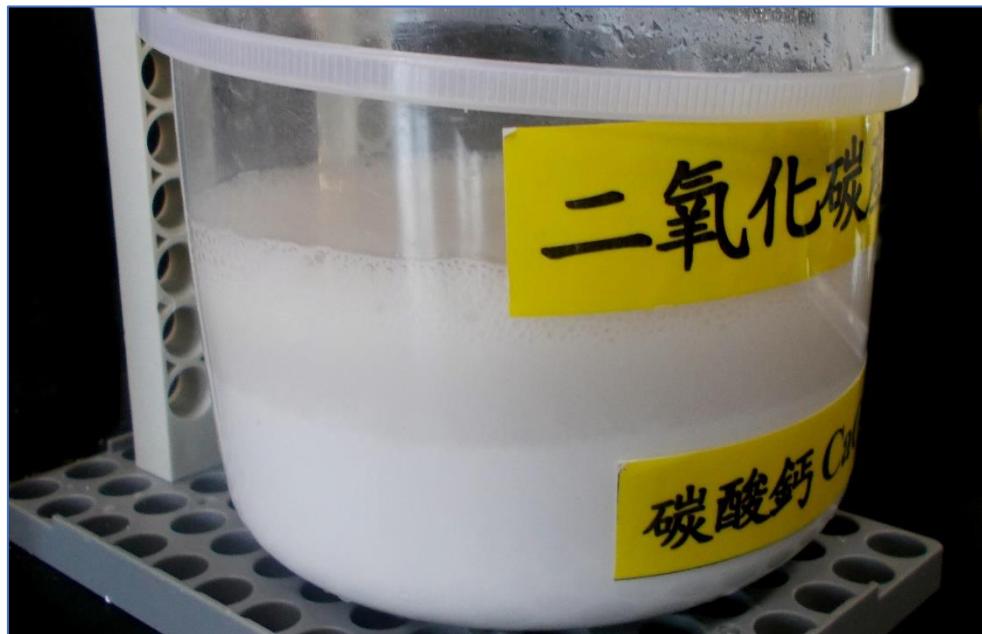


圖7 密封筒內反應液面

開學之前，我們遵照疫情指揮中心的群聚規定，到校開始實驗，重複幾次後，我們發現左側矽膠管內會有凝結的水滴，後來再仔細觀察，甚至連玻璃屋內也發現白濁水滴。從文獻回顧中了解到水氣也會影響溫室效應，玻璃屋內發現白濁水滴會干擾影響我們要進行的實驗，對於這種突發狀況，得要想辦法處理掉才行。



圖8 砂膠管內有凝結的水滴

我們立即找自然老師討論，實驗室內是否有任何可以濾除水氣的藥品器材嗎？自然老師想了一下，隨即找出一罐氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )藥品說道，這就是市面上販售的「克潮靈除濕桶」主要成份，氯化鈣會與水氣作用，達到除濕效果。我們馬上開始討論，然後再找一罐密封筒、兩個三通管，再倒入整罐氯化鈣顆粒，並使用「PARAFILM 封口膜」與三通管控制「繞流」，就做成了過濾型除濕桶，但這裡的繞流控制只是檢測管路而已。另外，我們還應用生物課學到的「氯化亞鉻試紙」檢測水氣，用來辨識除濕桶是否仍然正常運作，整個設備如下圖所示：



圖9 除濕裝置

我們反覆實驗，測試了好幾次，確定除濕裝置能有效去除水氣，但測試更多次之後，卻又開始出現意外狀況，氯化亞鉻試紙的上端開始出現部分粉紅色現象，表示存在水氣。困惑許久之後趕快再找自然老師討論，自然老師拆掉封口膜，並打開除濕桶，直接倒出了結塊的氯化鈣顆粒說道，氯化鈣與水氣作用集結成塊，反而阻礙後續的水氣作用，所以接下來我們要開始思考如何解決氯化鈣結塊問題。



圖10 氯化鈣集結成塊

我們思考過程中也有詢問家長，關於家中除濕桶的使用經驗，再比較除濕桶與我們設計的除濕裝置有何差異，發現除濕桶是使用類似通透膜的「[鎖濕紙](#)」來進行限制，使得氣態的水氣能夠進入、而液態的溶液則無法流出，作用速率較慢，過程中確實也會集結成塊，但最後仍會全部融掉形成液體。而我們所設計的除濕裝置直接通入高濕度氣體，也遇到集結成塊的現象，或許最後同樣會全部融掉而形成液體，但目前我們希望作用速率能提升，通入高濕度氣體要直接作用在粒粒分明的顆粒狀氯化鈣效果較佳，討論與測試的結果，是在內部三通管再連接一段塑膠管，深入到除濕桶內部，並適時搖動除濕桶，使高濕度氣體直接作用氯化鈣顆粒，除濕效果最好，若全部集結成塊，則更換整桶氯化鈣。

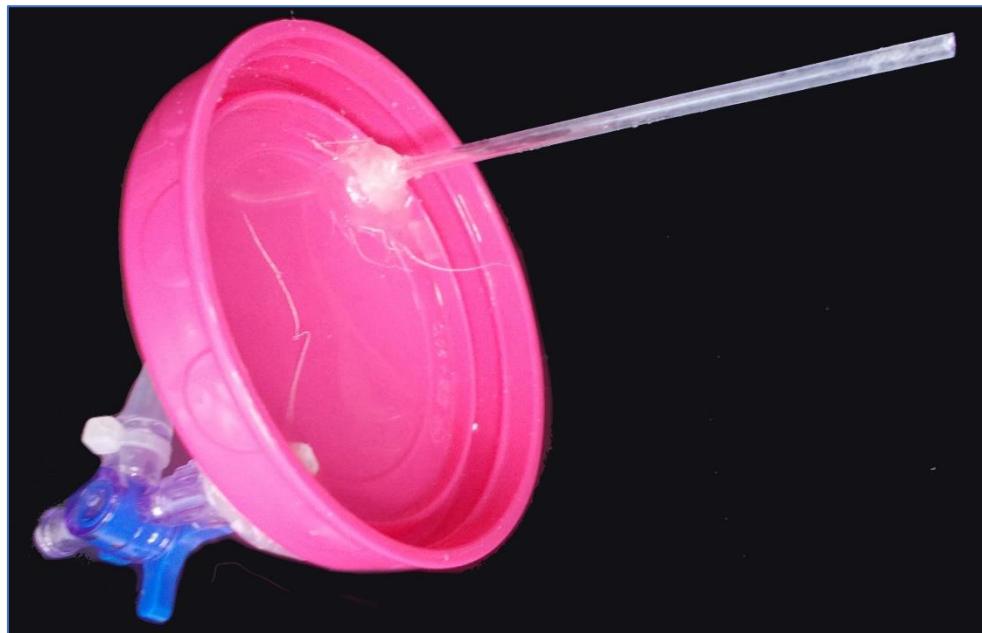


圖11 改良後除濕裝置的內部

至於感測器的部分則特別感謝學校科技領域的老師們，共同開發出來的氣體感測模組，也願意提供給我們使用，只要稍加改作就能應用在我們的專案開發上。[「應用 Arduino 開發板探討溫室效應」](#)的專案開發需要應用 [Arduino 開發板](#)、氣體與溫濕度感測器、LCD 液晶螢幕與 SD 記憶卡模組，能即時顯示數據、也可記錄資料，或再以 [Excel](#) 繪製圖表，或連接電腦進行現場環境監測。

氣體感測器包括甲烷、水氣與二氧化碳感測器，雖然目前專案並未討論甲烷與水氣的濃度影響，但在後續的「空白試驗」與「零空氣」的資訊解讀中，背景數據仍具有相當的參考價值，所以自然老師建議應該要加入甲烷與水氣感測數據，科技老師則表示技術層面沒有問題，所以我們最終就決定下列這幾組感測器：

表4 感測器設備及器材說明

名稱	說明
甲烷感測器	龍戈電子 MQ5模組，可偵測多種氣體，需參考「規格書」進行設定。
溫濕度感測器	「奧松 DHT22溫濕度模組」，芯片型號 AOSONG AM2302，因此也稱為「奧松 AM2302溫濕度模組」。模組會同時偵測溫度與濕度，濕度即水氣濃度，以相對濕度%表示。溫度測量範圍約-40°C ~ 80°C，而實際試驗時皆未超過此範圍。
二氧化碳感測器	DFRobot 相容 MG811模組，需要從開發版 Vin 腳位，連接未降壓7~12V 外供電源，並連接6V 穩壓片 LM7806，加熱感測器，才能運作。

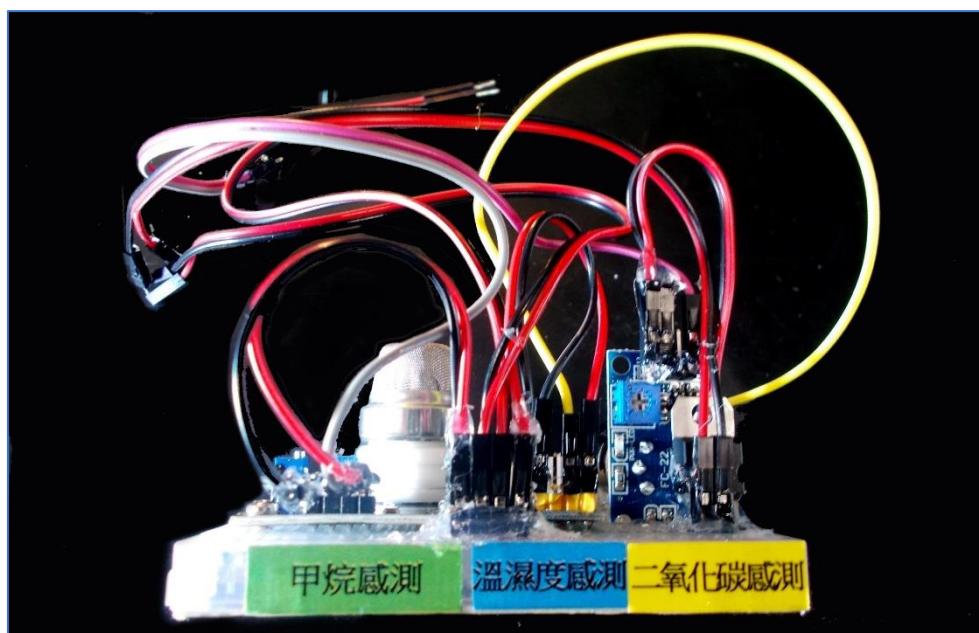


圖12 感測器集成電路板

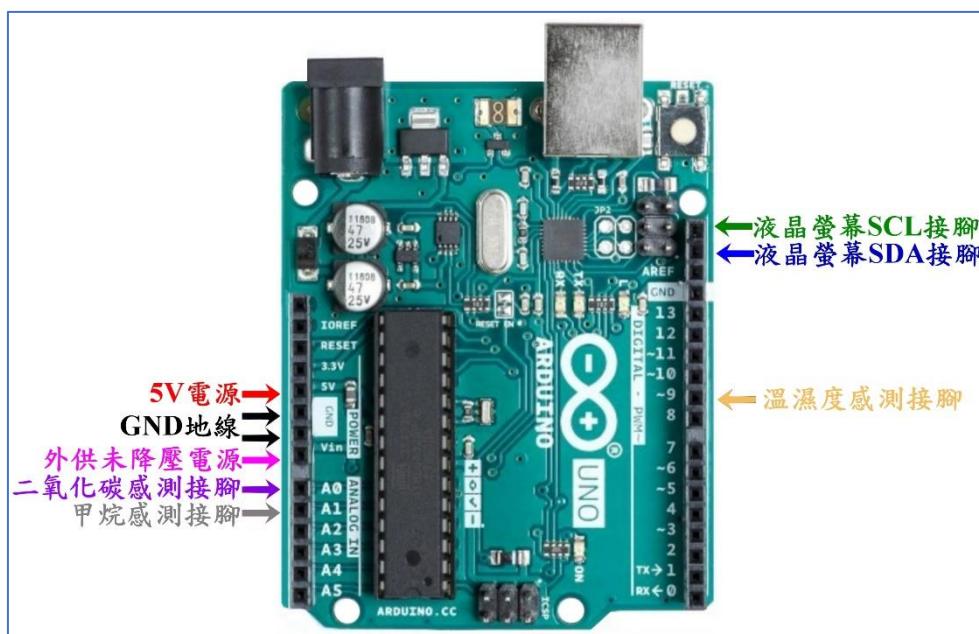


圖13 Arduino 開發板電路連接圖

將 XD-05 數據記錄擴展板的針腳直插 Arduino 開發板母座後，感測器的杜邦公接頭則變更連接至 XD-05 模組的母座，並插入 SD 記憶卡與 7~12V 電源供應器，若使用移動電源則要使用三節 18650 電池組才能提供足夠的電力，整組設備才會正常運作。

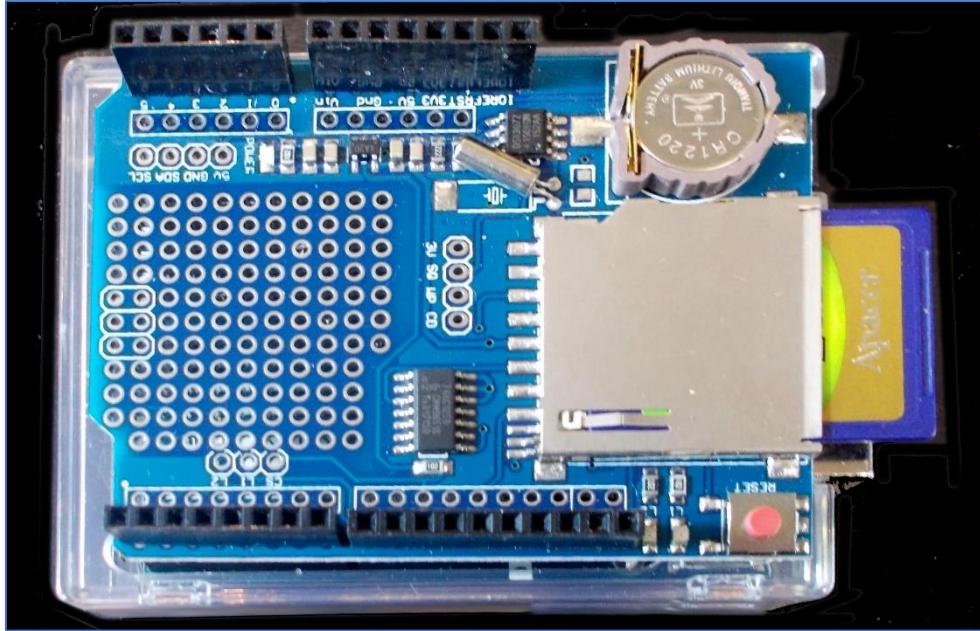


圖14 XD-05模組直插堆疊 Arduino 開發板

然後使用 **Arduino IDE** 開發環境將下列程式碼傳輸到開發板，溫室效應感測模組便完成了，真的非常感謝科技老師們的奉獻與指導，讓我們順利完成模組。

溫室效應監測程式碼：

```
//// /* 「應用 Arduino 開發板探討溫室效應」 */

////關於 XD-05擴展板，相容 Adafruit SD Shield
#include <SD.h> //程式庫納入操作 SD 記憶卡相關標頭檔<SD.h>，標頭檔 header，通常包括類別、副程式、其它變數等相關處理函式的原始碼或前置識別碼等，又稱為「頭文件」
#include <RTCLib.h> //程式庫納入 RealTimeClock 實時時鐘相關標頭檔<RTCLib.h>
RTC_DS1307 RTC; //宣告使用<RTCLib.h>標頭檔內 DS1307欄位，建立名稱為「RTC」的物件
DateTime now; //宣告使用<RTCLib.h>標頭檔內 DateTime 欄位，建立名稱為「now」的物件
#include <SPI.h> //程式庫納入 SPI 命令腳位相關標頭檔<SPI.h>
const int chipSelect = 10; //常數整數型態設定 SD 記憶卡擴展板的 ChipSelect 線路作為 SPI 命令腳位，XD-05使用10號腳位
File logfile; //宣告使用<SD.h>標頭檔 File 功能，建立名稱為「logfile」的物件

////關於 LCD 液晶顯示器，附 I2C 轉接器
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h> //程式庫納入 LCD 液晶顯示器相關標頭檔
<LiquidCrystal_PCF8574.h>，此處建議選用 I2C 轉接器 PCF8574 晶片適用的相關標頭檔
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27); //使用<LiquidCrystal_PCF8574.h>標頭檔，設定液晶顯示器 I2C 初始化位址，PCF8574 晶片為 0x27、PCF8574A 晶片為 0x3F，也可使用掃描方式確認
#include <Wire.h> //程式庫納入 I2C 相關標頭檔<Wire.h>，UNO R3 的 SCL 連接類比腳位 A5、SDA 連接類比腳位 A4 連接，更方便並聯接線

////關於二氧化碳感測器
#include <CO2Sensor.h> //程式庫納入二氧化碳感測器相關標頭檔<CO2Sensor.h>，適用芯
```

片 LM393、感測頭 MG811、型號 RKI-3182 等設備，使用廠商開發的標頭檔可精簡運算過程，但無法進階準確校正

CO2Sensor co2Sensor(A0, 0.99, 100); //宣告使用<CO2Sensor.h>程式庫 CO2Sensor 功能，建立名稱為「co2Sensor」的物件，並設定參數(A0, 0.99, 100)

//A0為感測器連接腳位；0.99為 inertial coefficient 慣性係數，指流體因黏滯受阻礙後的移動係數；100為每次讀取腳位訊號時，反覆測量的次數，最後取平均值記錄

#### ////關於 DHT 溫濕度感測器

```
#include <DHT.h> //程式庫納入 DHT 溫濕度感測器相關標頭檔<DHT.h>
```

```
#define DHTPIN 9 //定義溫濕度感測器訊號接腳為第9針腳座
```

```
#define DHTTYPE DHT22 //define DHTTYPE 語法為定義溫濕度感測器類型，常用類型  
DHT11、DHT21、DHT22等，可由此處改為對應類型
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //宣告使用<DHT.h>程式庫 DHT 功能，建立名稱為「dht」  
的物件，並設定參數(DHTPIN,DHTTYPE)
```

#### ////關於甲烷感測器

```
float sensorValue; //浮點數型態設定變數 sensorValue 為感測器輸出訊號數值，感測器 Aout  
腳位預計連接開發板 A1腳位
```

```
float sensorVoltage; //浮點數型態設定變數 sensorVoltage 為感測器 Aout 腳位輸出電壓
```

```
float RS_air = 60; //浮點數型態設定 RS_air 變數，為「零空氣」(乾淨空氣)中的感測電阻值  
(RS:Sensing Resistance 或 Sensor Resistance)，此處另寫程式實際測得 RS_air = 60
```

```
float R0 = 9.2; //浮點數型態設定 R0 變數，為「零空氣」中加入已知氣體濃度值的所測得的  
「原點」(Origin)電阻值，濃度越高，電阻越小，因此零空氣中通入感測最大量
```

```
10000ppm 甲烷時，測得的數據即為 R0
```

```
//R0 = ((Vcc*RL)/VRL-RL)，VRL=Aout，此 Aout 為「零空氣」中加入已知氣體濃度值的  
所測得的類比輸出電壓，作為進階精準校正用。ratio=RS_air/R0，因此由 RS_air*ratio 即可  
求得 R0，可另寫程式計算
```

```
void setup() {
```

#### ////關於 XD-05擴展板

```
Serial.begin(9600); //使用基本波特率較不容易出狀況，可以從序列埠監視窗中查看訊息
```

```
Serial.println(F("Checking SD card...")); //判斷 SD 模組初始化是否成功
```

```
if (!SD.begin(chipSelect)) {
```

```
Serial.println(F("SD card failed, or not present")); //F()函數把後序的字串存放於 Flash 裡，  
不會佔用 SRAM，可以讓出約42KB 的記憶體容量
```

```
return;
```

```
}
```

```
Serial.println(F("Trying to check the file..."));
```

```
logfile = SD.open("DataLog.csv", FILE_WRITE); //打開名為 DataLog.csv 的檔案，模式為  
寫入(FILE_WRITE)，若檔案不存在，則自動建立新檔案
```

```
if (logfile) {
```

```
Serial.println(F("Try to write DataLog.csv..."));
```

```
logfile.println("Date,Time,Temp *C,CO2 /ppm,CH4 /ppm,RH %");
```

```
logfile.close();
```

```
Serial.println(F("Done."));
```

```
} else {
```

```
Serial.println(F("Error opening DataLog.csv...")); //如果無法開啟檔案，就在監控視窗顯示  
錯誤訊息
```

```
}
```

```

Wire.begin();
RTC.begin();
RTC.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
now = RTC.now(); //擷取「RTC」物件中「now」的欄位數據，傳給名稱為「now」的物件
Serial.print(now.year(), DEC); //印出10進位型態物件資料
Serial.print('/');
if (now.month() < 10) //修正「月份」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.month(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.month(), DEC);
}
Serial.print('/');
if (now.day() < 10) //修正「日期」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.day(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.day(), DEC);
}
Serial.print(F("\t")); //印出「標欄字元」(Tab Character)，可產生空白與對準效果
if (now.hour() < 10) //修正「小時」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.hour(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.hour(), DEC);
}
Serial.print(':');
if (now.minute() < 10) //修正「分鐘」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.minute(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.minute(), DEC);
}
Serial.print(':');
if (now.second() < 10) //修正「秒鐘」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.second(), DEC);
}

```

```

else
{
  Serial.print(now.second(), DEC);
}
Serial.println(); //Serial.println 為印出「換行」，Serial.print 則僅印出不換行

////關於 LCD 顯示器
lcd.begin(16, 2); //1602型的 LCD 大小設為16、2，2004型的 LCD 大小則設為20、4
for(int i = 0; i < 3; i++) { //開啟背光，閃爍3次
  lcd.setBacklight(255);
  delay(250);
} lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); //設定游標起始位置為第1行、第1列(X 座標-行、Y 座標-列)
lcd.print("Hello,");
lcd.setCursor(0, 1); //設定游標起始位置為第1行、第2列(X 座標-行、Y 座標-列)
lcd.print("World!");
delay(1000);
lcd.clear(); //清空 LCD 資料

////關於二氧化碳感測器
co2Sensor.calibrate(); //CO2senor 感測器開機啟用自動校正
//若需要精密校正，則必須具備已知濃度的二氧化碳「標準氣體」才能進行數據的校正
迴歸，電位器調整鈕作為信號放大微調使用，部分款式具有另外電位器可改變 TTL 電平
訊號輸出，作為 Dout 啟動警報的靈敏度設定
//mg811感測頭對於二氧化碳具有良好的靈敏度與選擇性，受溫濕度的變化影響較小，  

穩定性與再現性佳，可直接使用廠商所提供的二氧化碳感測標頭檔，並配合範例教程編寫  

程式碼即可測量濃度值

////關於甲烷感測器
//MQ-5感測器可測量多種氣體，而甲烷也可以使用多種 MQ 系列感測器，選用 MQ-5感  

測器檢測甲烷，範圍從200~10000ppm，使用 MQ-XL-V2.0感測板 sensor board，具有4支腳  

位與2組調整靈敏度的電位器
//MQ-XL-V2.0感測板具有 GND、Dout、Aout、5V 等4支腳位，電位器 RP1調整 Dout，  

為數位輸出啟動警報的靈敏度，電位器 RP2調整 Aout 的「負載電阻」(RL, load  

resistance)，可控制類比輸出的靈敏度
//由於 MQ 系列感測器通用多種氣體，必須參考廠商所提供的雙對數感測器圖表才能精  

準計算，因此無法製作標頭檔簡易操作，只能如下 void loop 中進行檢測運算

////關於 PLX-DAQ 程式擷取動作
Serial.println(F("LABEL, Time, Temp. *C, CO2 /ppm, CH4 /ppm, H2O RH%,")); //
「LABEL」語法後的資料會由 PLX-DAQ 程式擷取，導入 Excel 程式中，作為欄位名稱
}

void loop() {
  delay(50);
  now = RTC.now(); //擷取「RTC」物件中「now」的欄位數據，傳給名稱為「now」的物件
  float CO2 = co2Sensor.read(); //整數宣告「CO2」物件，從「co2Sensor」物件中讀取  

「read」二氧化碳濃度值
  float Temp = dht.readTemperature(); //浮點數宣告「Temp」物件，從「dht」物件中讀取
}

```

「readTemperature」溫度值

float H2O = dht.readHumidity(); //浮點數宣告「H2O」物件，從「dht」物件中讀取  
「readHumidity」濕度值

sensorValue = analogRead(A1); //類比讀取 A1腳位數值寫入 sensorValue 變數中，非線性輸出

sensorVoltage = sensorValue/1024\*5.0; //以10位元 ADC 解析1024階類比輸入訊號，並於5V輸出電壓對應範圍內，轉換成感測器測得的電壓值，同樣為非線性輸出

//float RS\_gas; 浮點數型態設定 RS\_gas 變數，為待測氣體的感測電阻值

float RS\_gas = ((5\*20)/sensorVoltage-20); //RS\_gas=((Vcc\*RL)/VRL-RL)，VRL=Aout，為待測氣體所測得的類比輸出電壓，Vcc=5V、RL=20K，此處電阻值均以 K 計算，故取20，VRL 即 sensorVoltage

//原廠 MQ-5感測器數據資料為以10為底的 log-log 雙對數圖表，縱軸為 RS/R0，橫軸為 ppm，依 CH4圖示檢視相關對應直線，直線方程式為  $y=mx+b$ ，對數圖表中改寫成  $\log(y)=m*\log(x)+b$ ，取直線2點決定斜率

float m = -0.551; //取 CH4直線頭尾兩點，200ppm 對 ratio 值0.95即(X1,Y1)=(200,0.95)、10000ppm 對 ratio 值0.11即(X2,Y2)=(10000,0.11)， $m=\log(Y2/Y1)/\log(X2/X1)$ ，求得斜率 Slope m= -0.511

float b = 1.42; //取 CH4直線第三點，2000ppm 對 ratio 值0.4即(X3,Y3)=(2000,0.4)，代入對數方程式， $b=\log(y)-m*\log(x)$ ，求得 Y 軸截距 Y-Intercept b=1.42

//float ratio; 浮點數型態設定 ratio 變數 = RS/R0; ratio 可用於計算原廠所提供的感測器數據資料，經由測量可獲得單點 ratio 所對應的 ppm 數值

float ratio = RS\_gas/R0;

double ppm\_log = (log10(ratio)-b)/m; //雙精度型態設定 ppm\_log 變數，根據 ratio 值計算取得「對數尺度」(log scale)上的 ppm 數值

double ppm = pow(10, ppm\_log); //雙精度型態設定 ppm 變數，將前述 ppm\_log 變數轉換成「線性尺度」(linear scale)上的 ppm 數值

float CH4 = (float)ppm; //浮點數宣告「CH4」物件，並將「ppm」數值改以浮點數型態寫入「CH4」物件中，(float)語法為變數型態轉換

delay(50);

Serial.print(now.year(), DEC); //印出10進位型態物件資料

Serial.print('/');

if (now.month() < 10) //修正「月份」顯示為2位數

{

Serial.print(F("0"));

Serial.print(now.month(), DEC);

}

else

{

Serial.print(now.month(), DEC);

}

Serial.print('/');

if (now.day() < 10) //修正「日期」顯示為2位數

{

Serial.print(F("0"));

Serial.print(now.day(), DEC);

}

else

```

{
Serial.print(now.day(), DEC);
}
Serial.print(F(" \t")); //印出「標欄字元」(Tab Character)，可產生空白與對準效果
if (now.hour() < 10) //修正「小時」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.hour(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.hour(), DEC);
}
Serial.print(':');
if (now.minute() < 10) //修正「分鐘」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.minute(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.minute(), DEC);
}
Serial.print(':');
if (now.second() < 10) //修正「秒鐘」顯示為2位數
{
Serial.print(F("0"));
Serial.print(now.second(), DEC);
}
else
{
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(F(",\t"));
}
Serial.println(); //Serial.println 為印出「換行」，Serial.print 則僅印出不換行
Serial.print(F(" \t"));
Serial.print(F("Temp:"));
Serial.print(Temp,2);
Serial.print(F(" *C\t"));
Serial.print(F("CO2:")); //將二氣化碳數值顯示在序列埠監控窗裡
Serial.print(CO2,2);
Serial.print(F(" ppm\t"));
Serial.print(F("CH4:")); //將甲烷數值顯示在序列埠監控窗裡
Serial.print(CH4,2);
Serial.print(F(" ppm\t"));
Serial.print(F("H2O:")); //將水氣濕度數值顯示在序列埠監控窗裡
Serial.print(H2O,2);
Serial.println(F(" %\t"));
Serial.print(F("DATA,TIME")); //「DATA」語法後的資料會由 PLX-DAQ 程式擷取，導入
Excel 程式中，儲存於欄位
Serial.print(F(","));

```

```

Serial.print(Temp); //將溫度數值顯示在 Excel 程式中
Serial.print(F(""));
Serial.print(CO2); //將二氧化碳數值顯示在 Excel 程式中
Serial.print(F(""));
Serial.print(CH4); //將甲烷數值顯示在 Excel 程式中
Serial.print(F(""));
Serial.print(H2O); //將水氣濕度數值顯示在 Excel 程式中
Serial.println(F(""));
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); //設定游標起始位置 (X 座標-行,Y 座標-列)
lcd.print("Temp:");
lcd.setCursor(7, 0);
lcd.print(Temp,2);
lcd.setCursor(14, 0);
lcd.print((char)223); //用特殊字元顯示右上角圓圈符號「度」
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0, 1); //設定游標起始位置 (X 座標-行,Y 座標-列)
lcd.print("CO2 :"); //顯示 CO2二氧化碳濃度值
lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print(CO2,2);
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("ppm");
delay(2500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); //設定游標起始位置 (X 座標-行,Y 座標-列)
lcd.print("CH4 :"); //顯示 CH4甲烷濃度值
lcd.setCursor(7, 0);
lcd.print(CH4,2);
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.print("ppm");
lcd.setCursor(0, 1); //設定游標起始位置 (X 座標-行,Y 座標-列)
lcd.print("H2O :");
lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print(H2O,2);
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("RH%");
delay(50);

logfile = SD.open("DataLog.csv", FILE_WRITE); //打開名為 DataLog.csv 的檔案，模式為
寫入(FILE_WRITE)
String datastring = String(now.year(),DEC) + '/' + String(now.month(),DEC) + '/' +
String(now.day(),DEC) + ", " + String(now.hour(),DEC) + ':' + String(now.minute(),DEC) + ':' +
String(now.second(),DEC)+ ", " + String(Temp,2) + ", " + String(CO2,2) +", " +
String(CH4,2)+", " + String(H2O,2); //字串宣告
logfile.println(datastring);

logfile.close();
}

```

而先前使用壓克力板修復的玻璃屋，則為了要安裝 LCD 液晶顯示模組，需要對壓克力板再加工，但這次的難度更高，所以科技老師教導我們使用雷射切割機來進行加工。首先使用 RDwork 軟體設計圖檔，然後進行雷射切割便完成，速率與效能遠超過線鋸機，但設計圖檔前要先進行精密測量，然後學習 RDwork 軟體操作，前置作業階段的門檻也更高，我們學得很辛苦，但很值得。

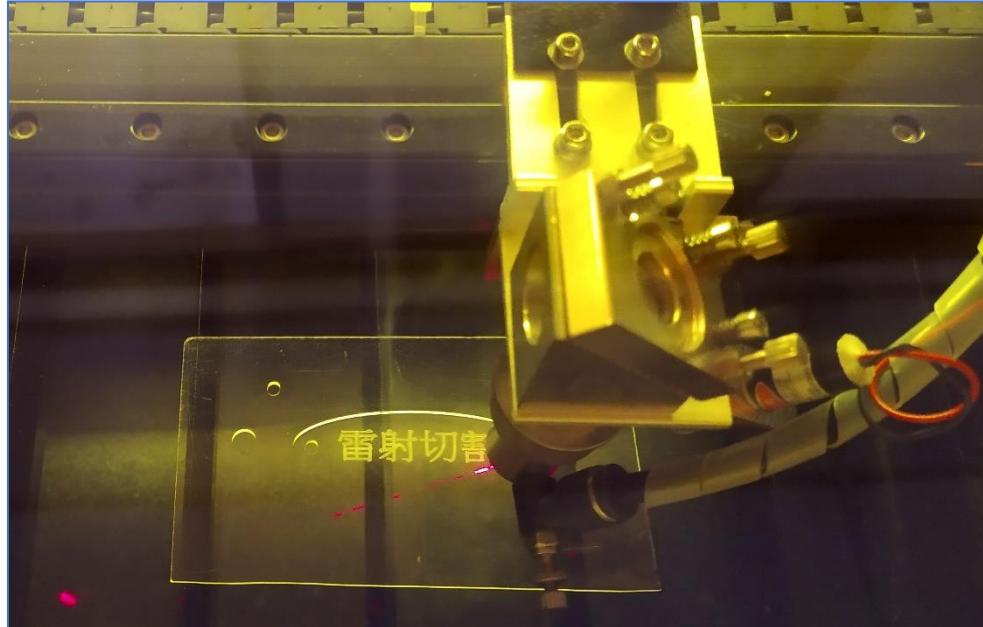


圖15 雷射切割機切割壓克力板

我們使用台灣三軸公司 SU 系列的雷射切割雕刻機，型號是6040，雷射管功率是80W。雷射切割機有相當的危險性，所以我們非常謹慎小心的聽從老師的指導，按下讀取檔案、定位巡邊、確認執行等操作後，就將先前使用線鋸機粗糙切割的壓克力板直接燒灼切割下去，得到下列的成品：

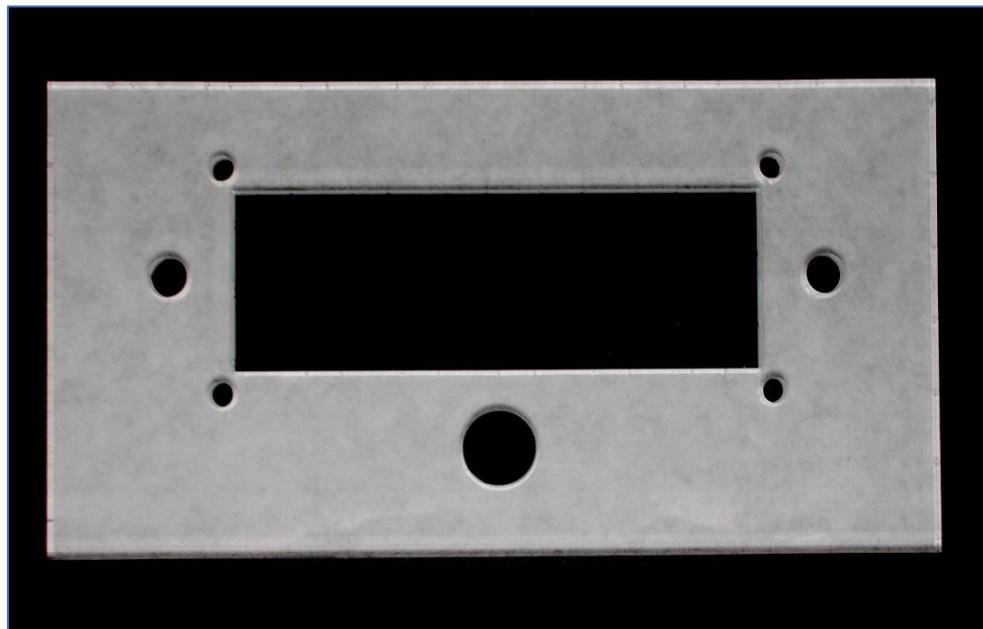


圖16 可安裝 LCD 顯示螢幕的壓克力板

壓克力板材只有2mm 厚，所以必須使用 M3塑膠螺絲組與螺帽鎖入上下左右四個小孔，避免崩壞壓克力板，中間長方形恰可置入 LCD 液晶螢幕，左右兩中孔安裝三通管，下方大孔則是杜邦線出入用，安裝時再以透明雙面黏膠填縫防漏。

為了要控制溫室效應日照的因素，我們決定使用120V、50W的鹵素燈泡，聽老師說這組鹵素燈約10公分的照射距離內會熔化蠟燭，使用它來照射玻璃屋應該就可以驗證溫室效應了。



圖17 鹵素燈泡組

再連接組裝魚缸用的打氣幫浦，驗證溫室效應的整組設備器材便大致完工，全景如下圖所示：

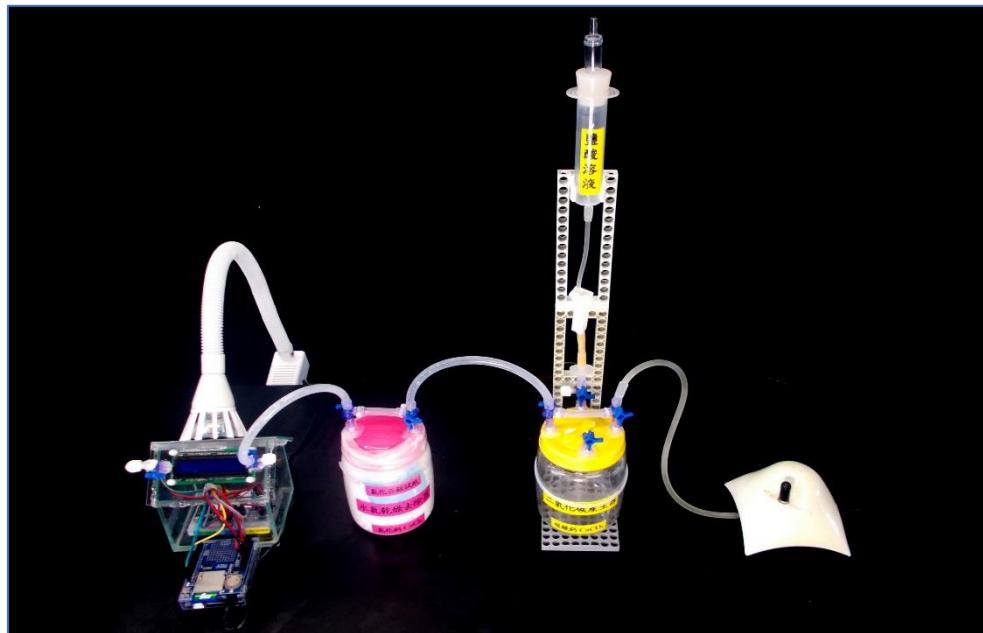


圖18 溫室效應實驗全景圖

#### <操作步驟>

- 1.早自習時，資料記錄器插入 SD 卡，接通感測器開發板電源，熱機至少4小時以上。
- 2.午休時，停機更換 SD 卡後重啟，第一天進行**空白試驗**，連續測量至少4小時以上。
- 3.隔天第三節下課時開啟打氣幫浦電源，使用**零空氣**沖洗玻璃屋，至少1小時以上。
- 4.午休時進行**對照組**，通入**零空氣**1小時後，閉鎖玻璃屋，連續測量至少4小時以上。
- 5.第三天通入**二氧化碳**，濃度約**600ppm** 時，閉鎖玻璃屋，連續測量至少4小時以上。
- 6.第四天通入**二氧化碳**，濃度約**800ppm** 時，閉鎖玻璃屋，連續測量至少4小時以上。

**零空氣**利用活性碳或氣體分子篩濾除干擾物質，產生不含雜質之高純度氣體，用以校正儀器之零點或是配製各種不同濃度的標準氣體。我們只利用**氯化鈣**濾除水氣，甲烷與二氧化碳完全無法處理，但後來自然老師說，自然狀態下二氧化碳濃度將近400ppm，濾除水氣的空氣就當作是400ppm的二氧化碳標準氣體，可暫時充當**零空氣**，每次閉鎖玻璃屋實驗完畢後，就用**零空氣**沖洗玻璃屋至少1小時以上，基本上就視為歸零狀態。

工業化之前，全球二氧化碳平均濃度約 280 ppm，目前測得最高值約420ppm，我們討論要設定多少濃度進行實驗，原本假設再增加  $(420 - 280) = 140\text{ppm}$ ，亦即約560ppm 濃度，模擬再增加相同濃度的影響。但後來思考，文獻回顧中觀察全球排放二氧化碳的程度，近10 年每年上升約2.5 ppm，而且能源需求逐年攀升，排放量可能會更高。另外，也基於對照組濃度是400ppm，若直接取整數值600ppm濃度來進行研究，計算上可能較為簡單，並希望600ppm 濃度能夠有較顯著的差異。

同時數學課剛好正在教二元一次方程式，自然老師說「數學為科學之母」，如果可以的話，就試著把這些測得的資料數據整理成二元一次方程式，概略可稱為**「模式」(Pattern)**，若是將來反覆驗證模式，能夠旁徵博引，從區域特性應用到廣域範圍，而且還有其它文獻支持論點，便有機會發展成**「模型」(Model)**……。雖然還不是很清楚模式與模型的差異，但有對照組400ppm 與實驗組600ppm 兩組數據，應該就可以寫出二元一次方程式。

自然老師還說道，模式可以用來預測未知，那由400ppm 與600ppm 兩組數據所寫出來的二元一次方程式，應該可以用來預測第三組數據。如果是這樣子的話，那第三組數據應該測多少 ppm 呢？實驗室公差開始七嘴八舌討論起來，400ppm 與600ppm，接下來就聯想到800ppm，最後決定加入800ppm 作為預測目標，總共是**空白試驗、400ppm 對照組、600ppm 實驗組、800ppm 實驗組**等四組資料數據。

玻璃屋左側三通管放開，右側三通管由打氣幫浦導入二氧化碳，點亮鹵素燈，啟用開發板與感測器，調節二氧化碳產出流量，並注意 LCD 液晶顯示螢幕，達到預定濃度後，立即閉鎖玻璃屋，也就是左右側三通管都關閉，然後持續光照4小時以上，實驗組操作完畢後，使用**零空氣**沖洗玻璃屋至少1小時以上，再重複操作。

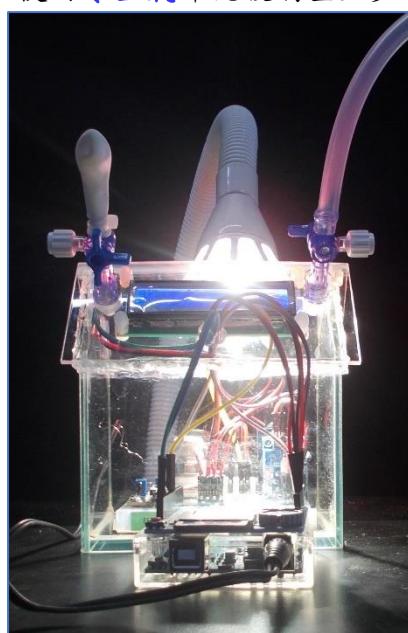


圖19 人工光源持續照射進行實驗

## 肆、研究結果

2022年2月10日、實驗室環境溫度16.5°C、相對濕度76%

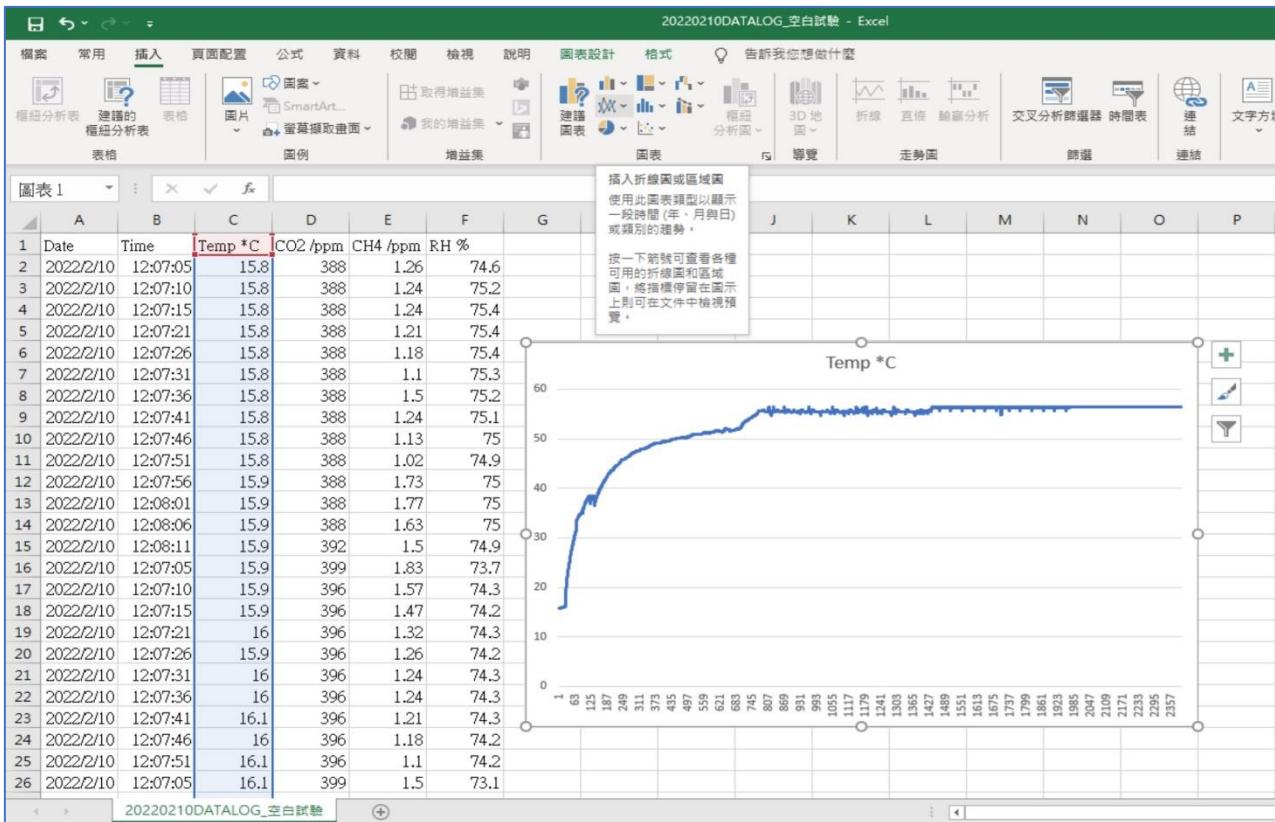


圖20 空白結果圖

2022年2月11日、實驗室環境溫度17.2°C、相對濕度73%

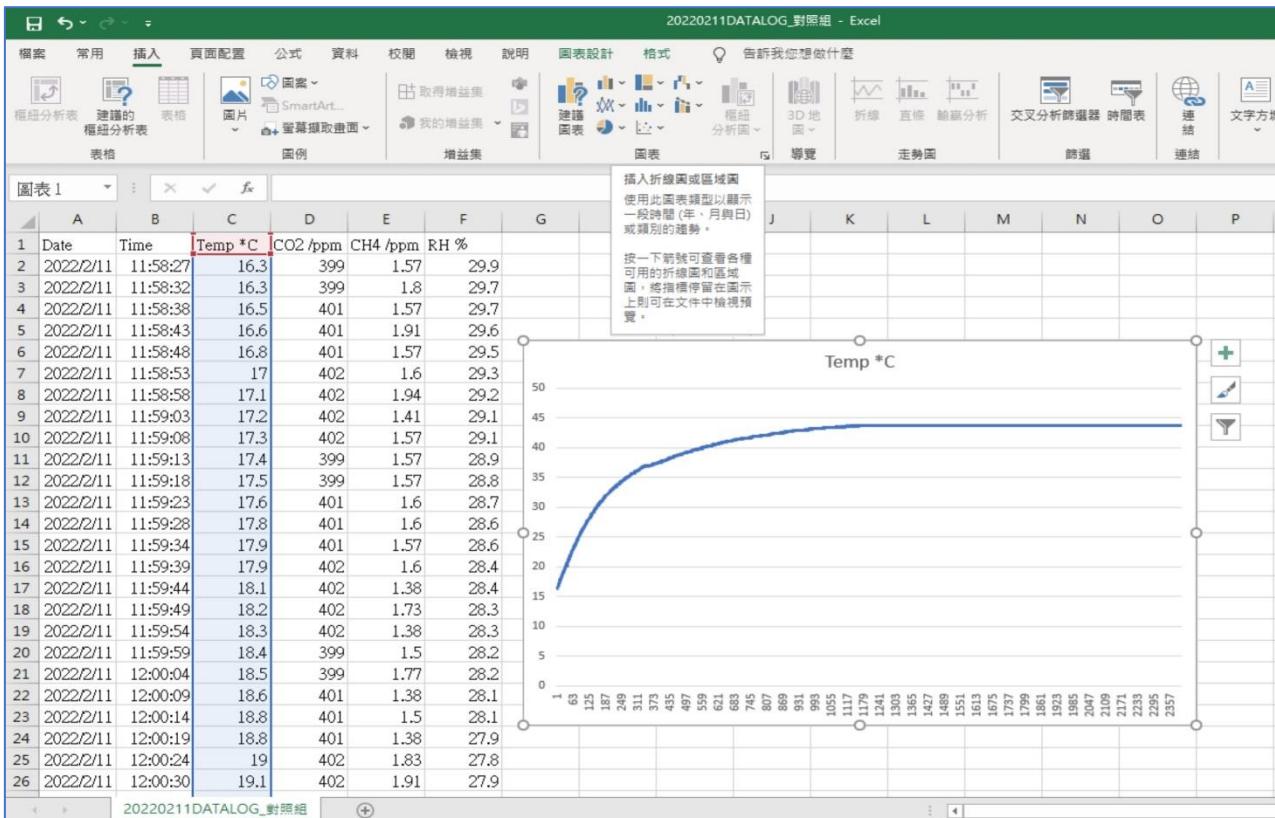


圖21 對照組結果圖

2022年2月14日、實驗室環境溫度17.3°C、相對濕度77%

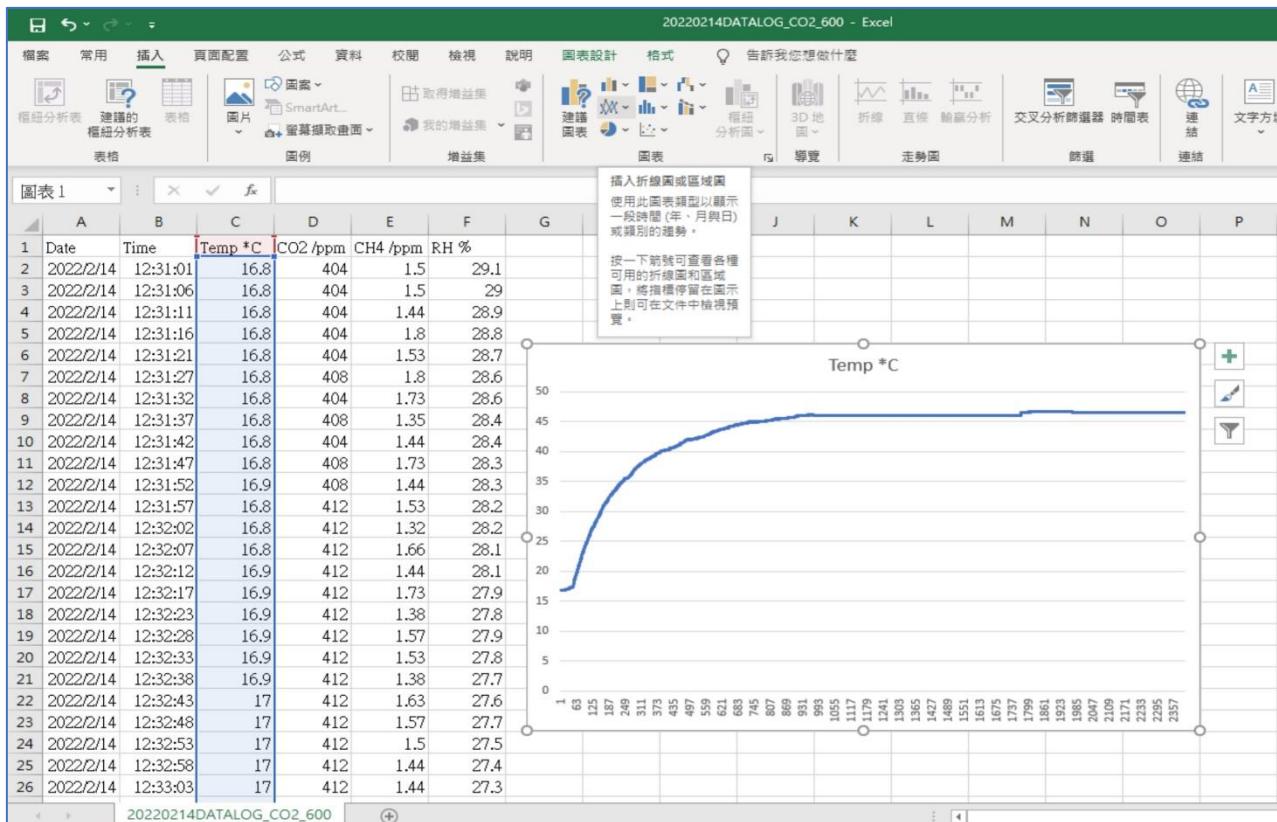


圖22 二氧化碳600ppm 結果圖

2022年2月15日、實驗室環境溫度17.9°C、相對濕度76%

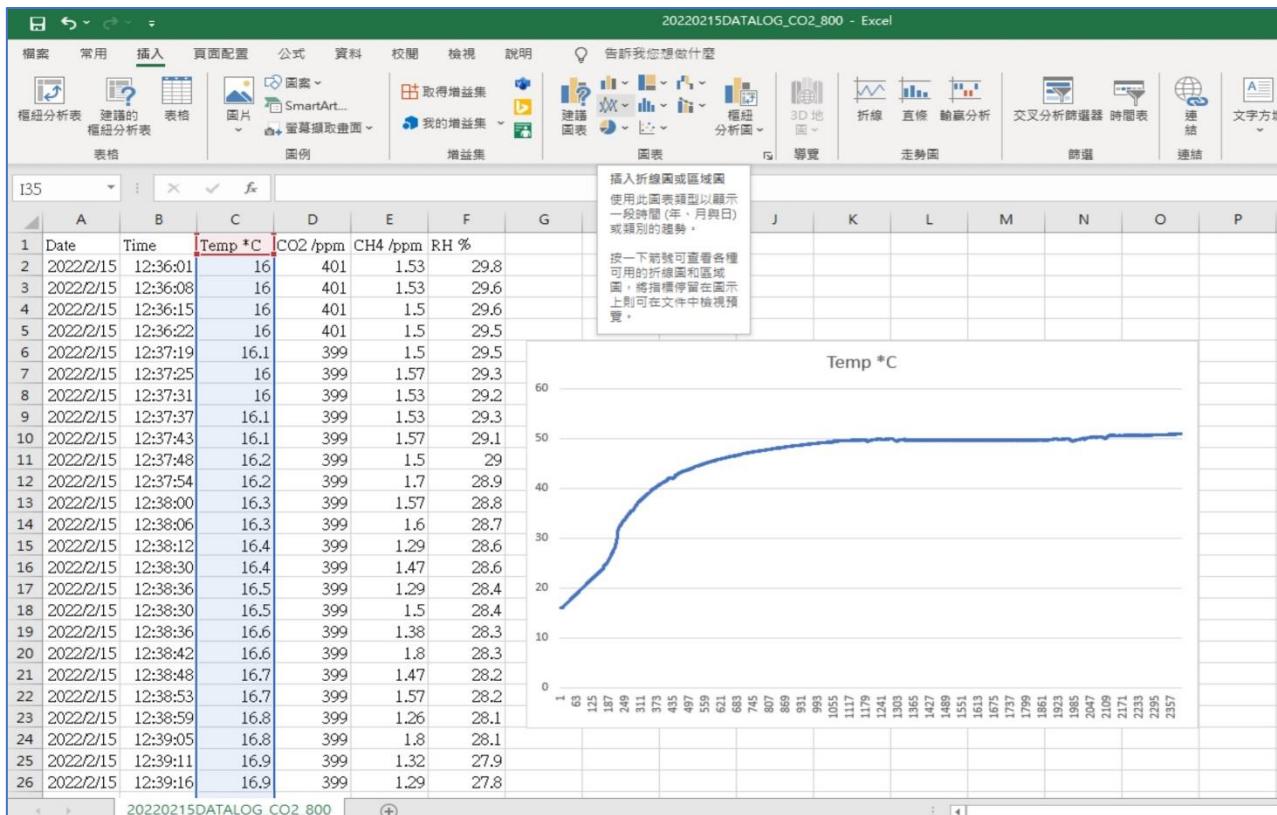
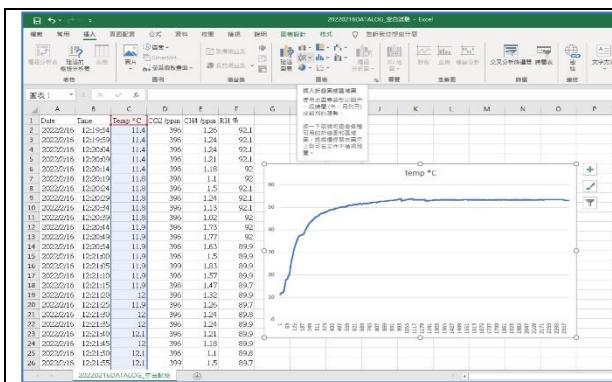
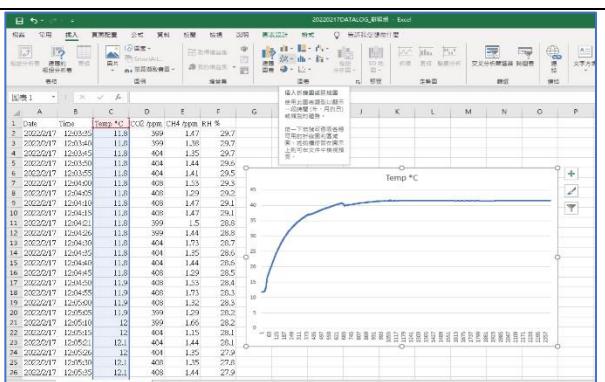


圖23 二氧化碳800ppm 結果圖

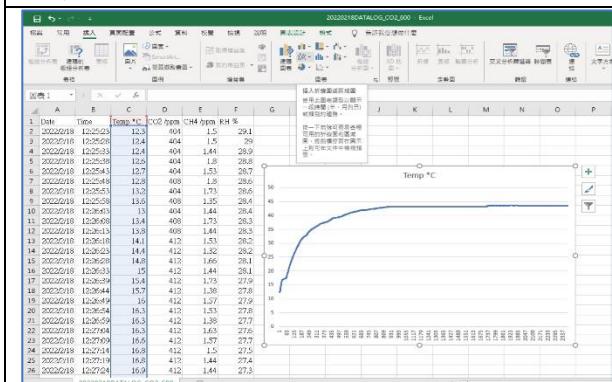
實驗室環境的溫濕度測量，使用 La Crosse 型號 WS-281OU-IT 的多功能氣象儀進行測量。



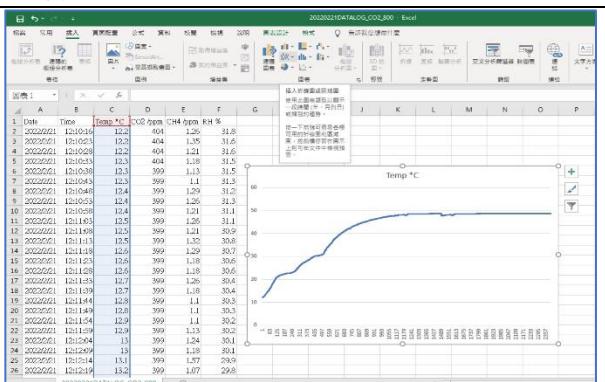
**圖24** 2022年2月16日、空白試驗  
實驗室環境溫度11.6°C、相對濕度93%



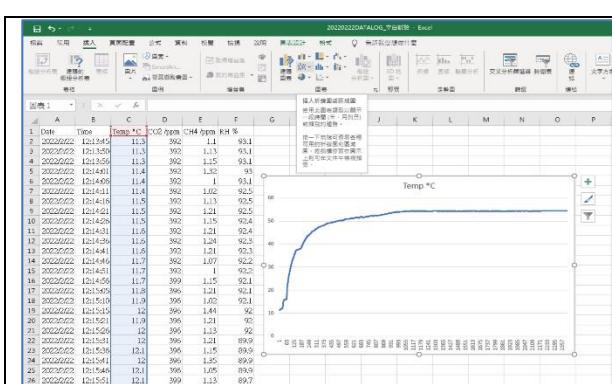
**圖25** 2022年2月17日、對照組  
實驗室環境溫度11.8°C、相對濕度92%



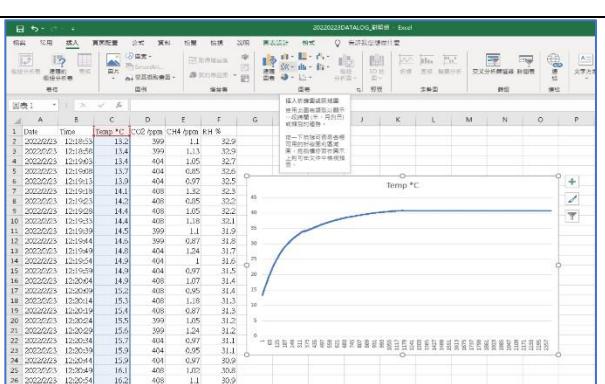
**圖26** 2022年2月18日、600ppm 實驗組  
實驗室環境溫度11.9°C、相對濕度91%



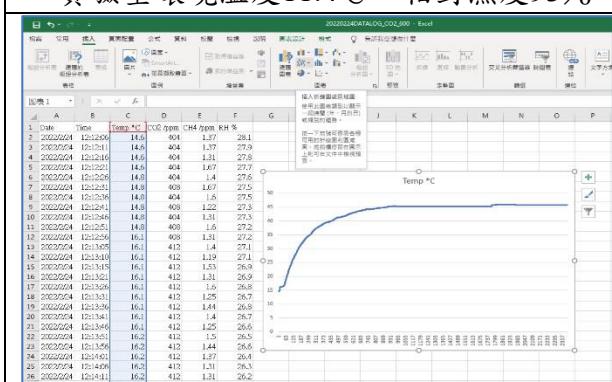
**圖27** 2022年2月21日、800ppm 實驗組  
實驗室環境溫度12.1°C、相對濕度88%



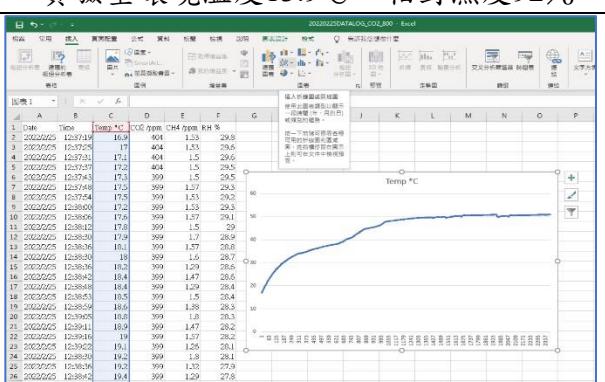
**圖28** 2022年2月22日、空白試驗  
實驗室環境溫度11.4°C、相對濕度93%



**圖29** 2022年2月23日、對照組  
實驗室環境溫度13.9°C、相對濕度92%



**圖30** 2022年2月24日、600ppm 實驗組  
實驗室環境溫度15.3°C、相對濕度85%



**圖31** 2022年2月25日、800ppm 實驗組  
實驗室環境溫度17.6°C、相對濕度75%

## 伍、討論

老師把記憶卡取出來，讀取裡面的檔案，使用 Excel 繪製出上述圖表。我們看到 800ppm 的圖表時，直覺認為是感測器有狀況，但老師說道，所有感測器出廠前都會做校正測試，而且為了確保 QA/QC，老師特別把這次所有專題使用的感測器拿去大學實驗室做過「Q 檢驗」(Q test)，可以認定測量結果具有品質保證。我們聽得有點模糊，QA/QC(Quality Assurance 品質保證/Quality Control 品質管理)就是要確定管理測量的數據有品質保證，可是 Q 檢驗是什麼呢？老師又說道，「簡單的說，使用約 10 組相同器材，測量標準物質，藉由統計學方法計算檢定測量值，用於識別和拒絕異常值……」。我們這次專題所使用的感測器都是全新品，皆有出廠校正，也都去過大學實驗室做過 Q 檢驗，因此可以認定通過 QA/QC。但還是覺得 800ppm 的圖表有異樣。

後來我們檢視操作影片時，發現似乎是在加藥產氣過程，鹽酸的流量調節器忽快忽慢，二氧化碳的濃度增加率就會不穩定，暖化升溫的速率就會亂掉。但是我們只是要達到 800 ppm 左右的濃度，二氧化碳增加率並不影響狀況達成。

另外，所謂的「空白試驗」(Blank Test)是指在不提供試藥或以等量溶劑替代試藥的情況下，按相同方法操作所得到的結果，作用是排除實驗環境、實驗藥品、實驗操作等對實驗結果的影響，可用來消除系統誤差。我們專題的空白試驗則是把感測器擺放到溫室外進行測量，環境中二氧化碳濃度約 400 ppm，空白試驗組與對照組的最大差別就是玻璃屋與水氣。擺放到玻璃屋之外，沒有溫室效應，光照直接而強烈，升溫效果在所有組別中最高。另外也藉由空白試驗，可以檢測目前甲烷與水氣的感測器運作全部正常，大氣中甲烷含量約 1.5ppm，雖然本次專題中並未探討甲烷與水氣的影響，但若這兩者數據皆異常，極可能就是熱機不足了。

表5 空白試驗 400ppm 監測數據表

標識	2022年2月10日		2022年2月16日		2022年2月22日	
	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫
空白試驗 溫室外 二氧化碳 400ppm	15.8°C	56.5°C	11.4°C	53.2°C	11.3°C	54.4°C
	升溫：40.7°C		升溫：41.8°C		升溫：43.1°C	
	平均升溫：41.9°C					

自然老師在科學教育課程中曾經提過，水星離太陽太近，它表面的大氣都被太陽風吹走，所以水星並沒有大氣層，不具備保溫功能。也因此在太陽的烘烤下，日照的地表溫度可達 450°C，但水星不受光照的背面，地表溫度則降至 -160°C，溫差超過 600°C。地球的衛星月球，表面同樣因為缺少大氣層而有劇烈溫差。

空白試驗組大致上可驗證這個理論，同時也能說明我們所進行的空白試驗中，有一組的偵測數值抖動最強烈，因為沒有玻璃屋的溫室屏蔽隔離效果，各種因素例如空氣的流動、水氣的變化等，影響將會變得直接而明顯。

正常開學後，在實驗室進行操作，原本擔心疫情若是宣布停課，就使用廁所鹽酸與貝殼反應產生二氧化碳，仍可在家完成研究。同樣使用三通管控制繞流，三通管方便切換繞流，而且也容易加工製作，三通管上的氣球可指示目前的氣壓狀態，並不需要非常精準，只要能夠輔助氣體的管路偵錯即可。

每次實驗完後，要用零空氣沖洗反應槽。自然老師說，零空氣可定義為針對不同分析等級而產生不同濃度之標準氣體，環境中二氧化碳濃度約400 ppm，如果再濾除水氣，就可視為二氧化碳400ppm 的零空氣，後續都是用這樣的零空氣進行操作。其實，根據自然老師的說法，二氧化碳感測器出廠校正，至少使用2點校正，環境大氣中二氧化碳濃度約400 ppm、而人體呼氣中的二氧化碳濃度約40000 ppm，就是最常被用來校正的濃度，二氧化碳感測器開機時的讀數幾乎就是400 ppm。

而根據器材的「規格表」(DataSheet)記載，感測器應該要熱機數小時以上，甚至需要12小時至24小時，感測器的表現將會更穩定。但實驗室管理員並不希望在無人看管的狀況之下執行熱機，而且過夜，最後協商的結果，則是早自習來就開始熱機，每節下課過去檢查，至少熱機4小時，再沖洗零空氣1小時以上，然後開始操作實驗條件4小時以上，記憶卡中的 Datalog.csv 檔案可以存放足夠的數據量，但每次都取2400筆資料，以相同的數據量進行比較。再沖洗零空氣1小時以上，也就是每天只能進行一組實驗，同時也檢視甲烷與水氣數值有無特別異常，可作為熱機是否充足的指標。實驗結果整理列表如下：

表6 對照組400ppm 監測數據表

標識	2022年2月11日		2022年2月17日		2022年2月23日	
對照組 溫室內 二氧化 400ppm	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫
	16.3°C	43.7°C	11.8°C	41.6°C	13.2°C	40.8°C
	升溫：27.4°C		升溫：29.8°C		升溫：27.6°C	
	平均升溫：28.2°C					

表7 實驗組600ppm 監測數據表

標識	2022年2月14日		2022年2月18日		2022年2月24日	
實驗組 溫室內 二氧化 600ppm	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫
	16.8°C	46.6°C	12.3°C	43.5°C	14.6°C	45.8°C
	升溫：29.8°C		升溫：31.2°C		升溫：31.2°C	
	平均升溫：30.7°C					

表8 實驗組800ppm 監測數據表

標識	2022年2月15日		2022年2月21日		2022年2月25日	
實驗組 溫室內 二氧化 800ppm	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫
	16.0°C	50.9°C	12.2°C	48.8°C	16.9°C	50.9°C
	升溫：34.9°C		升溫：36.6°C		升溫：34.0°C	
	平均升溫：35.2°C					

由實驗組600ppm 與對照組400ppm 求二元一次方程式  $Y=aX+b$  的解法，並以每100ppm 為單位，增加200ppm，溫度升高 $(30.7-28.2)=2.5$ ，即  $a=1.25$ ，而  $b$  為初溫，二元一次方程式將改寫為  $Y=1.25X+b$ 。但若由此來預測800ppm，預測升溫值明顯低於實際測量值。自然老師說道，二元一次方程式是線性函數，但很明顯，我們測得的升溫圖形都是凹向下的曲線，並非直線，我們的解法也只能作為參考而已，其它溫室氣體例如甲烷與水氣的影響也尚未考量，而且聽自然老師說溫室氣體間彼此還會有加乘作用，看來溫室氣體的暖化模式是非常複雜的！

另外科技老師提過，程式碼中還有另外連接序列埠的語法，可使用 A 型接頭與 B 型接頭的 USB 線材，連接開發板與電腦，並執行 Excel 的外掛程式 PLX-DAQ，可至 Parallel 官網下載，正常連接後，就可進行現場即時的**環境監控**。意即我們的專案後續還有其他可發展的方向，應該會很好玩，例如執行空污現場的即時監控，概略估算末溫等，若是空污現場的二氧化碳濃度像金星表面那樣高，則溫室效應是否就會高達450°C以上呢？天馬行空的想法，就留待後續再探討了。

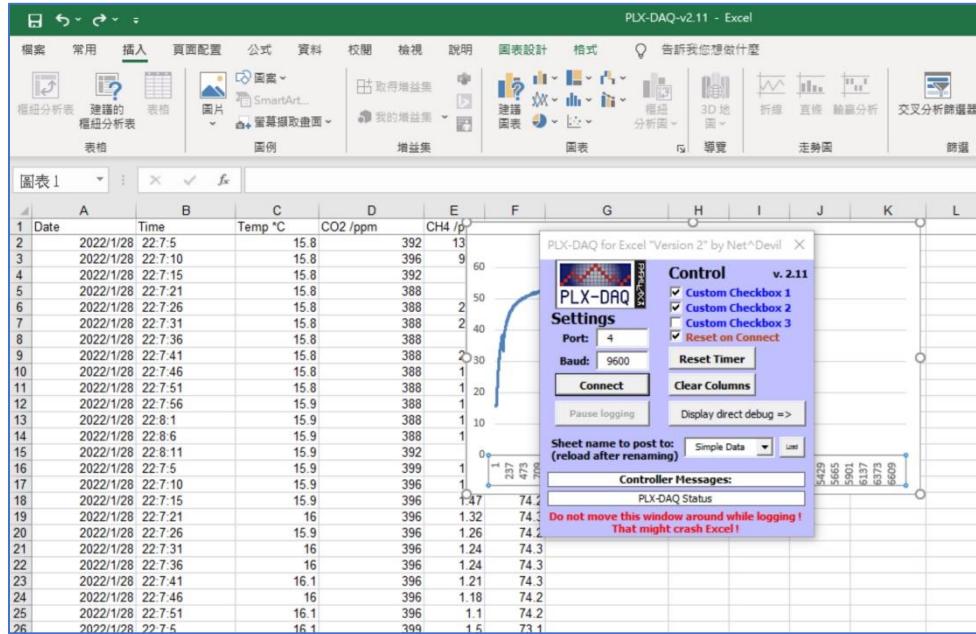


圖32 開發板連接電腦執行 PLX-DAQ 現場即時環境監測

## 陸、結論

白天時，太陽光照射到地球上，部分能量被大氣吸收，部分被反射回宇宙，大約47%的能量被地球表面吸收。晚上地球表面以紅外線的方式向宇宙散發白天吸收的熱量，其中也有部分被大氣吸收。大氣層像覆蓋玻璃的溫室般，保存了熱量，使得地球不至於像沒有大氣層的月球一樣，被太陽照射時溫度急劇升高，不受太陽照射時溫度急劇下降。

如果沒有溫室效應，地球就會冷得不適合人類居住。據估計如果沒有大氣層，地球表面平均溫度會是-18°C。正因為溫室效應，使地球平均溫度維持在15°C，但目前過多的溫室氣體導致地球平均溫度高於15°C。「溫室效應」會造成地球暖化，使地球環境惡化。但「溫室效應」並非顯而易見，因此不易理解，本專題結合自然科學與科技課程，於微型玻璃屋中，探討二氧化碳對於溫室效應的影響。

本專題使用生活物品，建構實驗設備，可在家自行操作，即使藥品也可以使用廁所鹽酸與大理石反應產生二氧化碳。首先在**玻璃屋外**進行「空白試驗」，再於**玻璃屋內**進行溫室實驗。打氣幫浦輸出的氣體經由三通管控制「**繞流**」(**Bypass**)，通過**氯化鈣**去除水氣，約略可視為「**零空氣**」(**Zero Air**)，以人工光源照射充滿「零空氣」的玻璃屋作為「對照組」，再比較充滿不同濃度的二氧化碳作為「實驗組」，應用 **Arduino 開發板**、感測器、液晶螢幕與記憶卡，能即時顯示數據、記錄資料，再以 **Excel** 繪製圖表，也可連接電腦，執行 Excel 的外掛程式 **PLX-DAQ**，便可進行現場的即時**環境監測**。

從本實驗結果的數據分析，「溫室效應」確實發生，而且二氧化碳濃度越高、暖化效果也越強烈。但目前除了植物行光合作用消耗二氧化碳外，人為上仍難以從環境中大量捕捉二氧化碳，所以應該儘量減少二氧化碳排放至大氣中，降低溫室效應才是！

## 柒、參考文獻資料

- 1.溫室效應是什麼？溫室氣體有哪些？與全球暖化有什麼關係？(2021年10月15日)・台北市：綠色和平組織・取自 <https://www.greenpeace.org/taiwan/>
- 2.溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)或溫室效應氣體(2022年2月17日)・高雄市：台灣中油股份有限公司・取自 <https://www.cpc.com.tw/cp.aspx?n=245>
- 3.什麼是溫室效應？(2022年2月18日)・台北市：交通部中央氣象局・取自 [https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Qa/qa\\_1\\_3.html](https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Qa/qa_1_3.html)
- 4.二氧化碳濃度達到另一個危險的里程碑(2021年6月22日)・新北市：科技部臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫・取自 [https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km\\_news\\_one.aspx?kid=20210622175419](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_news_one.aspx?kid=20210622175419)
- 5.黃嫵（2021年9月22日）・控制地球升溫，美歐決定從甲烷下手・取自 <https://technews.tw/2021/09/22/us-to-cut-methane-emissions-to-meet-climate-goal/>
- 6.台灣三軸科技（2020年1月1日）・SU4060中文使用手冊.pdf・取自：<https://www.3axle.com/product/59>
- 7.台灣三軸科技（2020年1月1日）・RDWORKS軟體操作說明書.pdf・取自：<https://www.3axle.com/product/125>
- 8.楊明豐（2021）・Arduino最佳入門與應用・台北市：碁峰。
- 9.趙英傑（2020）・超圖解 Arduino 互動設計入門・台北市：旗標。
- 10.陳明熒（2020）・Arduino 實作入門與專題應用・台北市：博碩。
- 11.施威銘研究室（2018）物聯網感測器大應用・台北市：旗標。
- 12.周秋香（2005）・自然科學與生活科技概論・新北市：心理。
- 13.張仁福（2003）・環境科學導論・高雄市：高雄復文。
- 14.方金祥（1998）・微型化學實驗之設計與製作・高雄市：高雄復文。
- 15.金鑑明、周富祥（1999）・環境科學概論・台北市：科技圖書。
- 16.黃秀蓮、張大年、何燧源（1996）・環境分析與監測・台北市：科技圖書。
- 17.沈豪，戴根華，陳定楚（1993）・環境物理學・台北市：科技圖書。
- 18.DFRobot CO.,LTD. (2008, January 1). Gravity: Analog CO2 Gas Sensor For Arduino (MG-811 Sensor). Retrieved January 21, 2022, from <https://www.dfrobot.com/product-1023.html>
- 19.Rajguru Electronics CO.,LTD. (2008, January 1). MG-811 Carbon Dioxide Sensor Module. Retrieved January 15, 2022, from <https://www.rajgurelectronics.com/>
- 20.HanWei Electronics CO.,LTD. MQ-5 Gas Sensor Technical data. Retrieved January 19, 2022, from <http://www.hwsensor.com>
- 21.Guangzhou Logoele Electronic Technology Co., Ltd. (2020, January 1). MQ-5 Detection Sensor Module. Retrieved January 16, 2022, from <https://logoele.en.made-in-china.com/>

## 【評語】032908

1. 本作品自製玻璃屋進行溫室氣體的升溫實驗，並採 Arduino 開發板、感測器、液晶螢幕與記憶卡，進行現場環境監測。能使用 Arduino 與電路、程式設計進行科學探究，值得鼓勵。
2. 全篇（含文獻回顧）應該使用自己的文字撰寫，而非直接使用文獻的文字。文句流暢但偏向過程記錄而非科學寫作。
3. 藉由儀器所測得的數據屬於原始數據，建議要將原始數據進行處理，才能成為更有意義的數據。此外，由於玻璃屋等不容易完全氣密，故除了溫度之外，應該也要將 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、RH 等與溫度共同作圖，以便觀察其隨時間的變化。未來或許可以透過即時環境監測之結果提供應對措施。

# 作品簡報

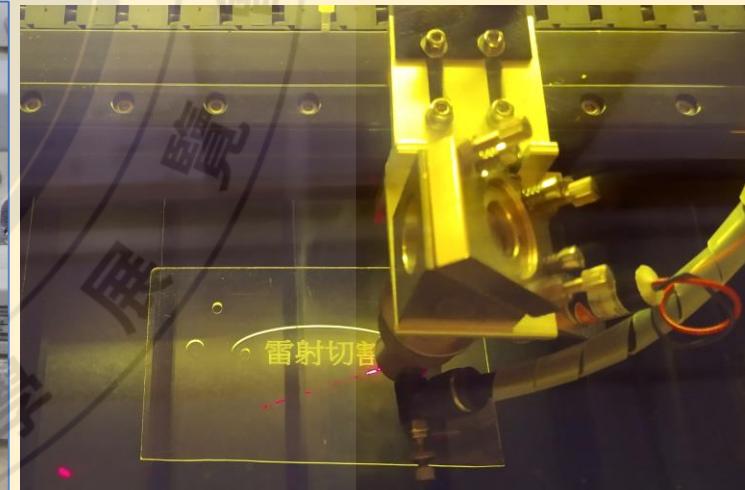
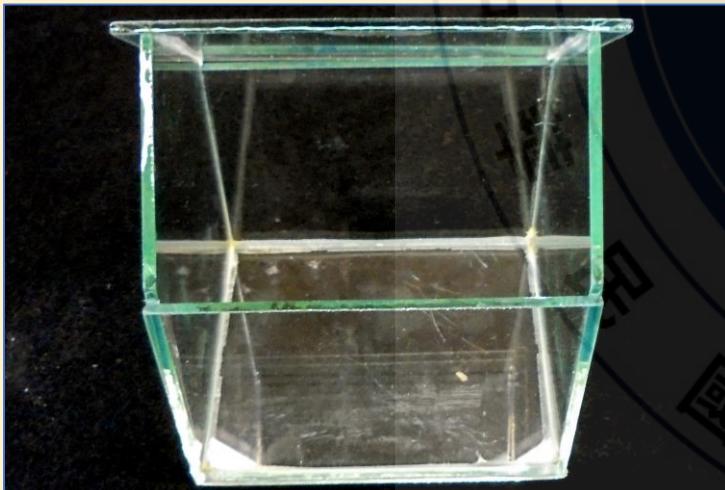
# 應用Arduino開發板探討溫室效應

•組別：國中組

•科別：生活與應用科學(二)

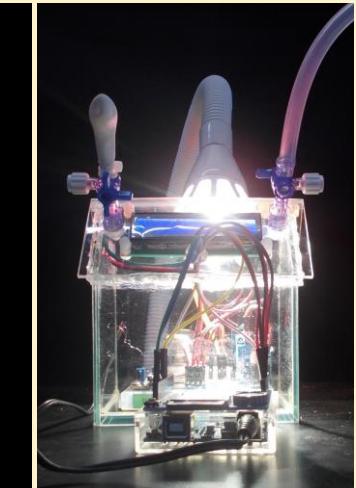
# 前言：研究問題

- 前言：地球暖化，「溫室效應」一詞常被提起，但**並非顯而易見**。
- 研究動機：
  1. 整理實驗室時，發現破損的溫室模型玻璃屋。
  2. 修復過程中尋求指導，但也好奇這樣就會引起暖化？
  3. 最後決定結合新興科技，探討驗證「溫室效應」。



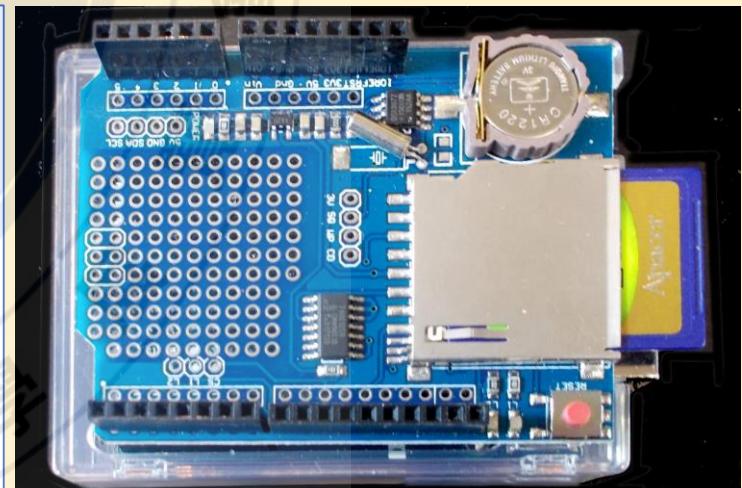
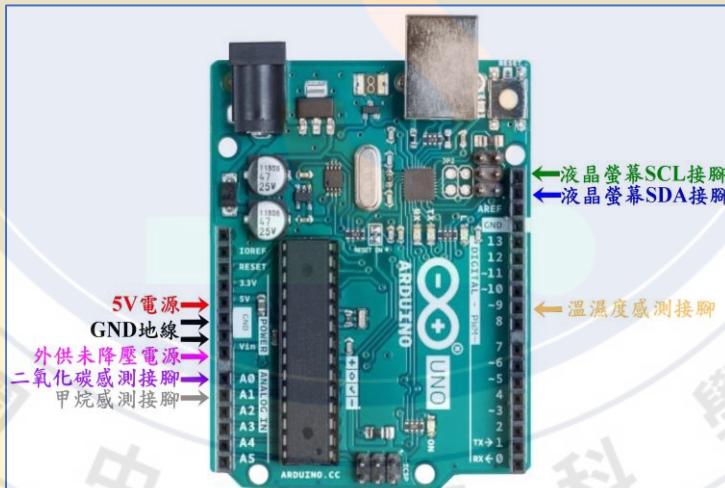
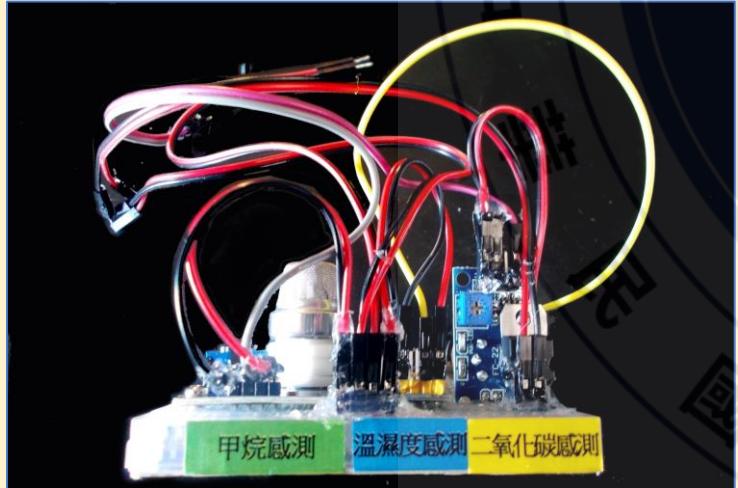
# 研究方法(一)

- 製造二氧化碳：碳酸鈣+稀鹽酸  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- 控制二氧化碳：使用「點滴輸液套件」改造成「鹽酸滴入套件」
- 濾除水氣：水氣也會造成影響，因此需要濾除，只探討單一變因
- 檢測二氧化碳：應用Arduino開發板、二氧化碳感測器進行檢測

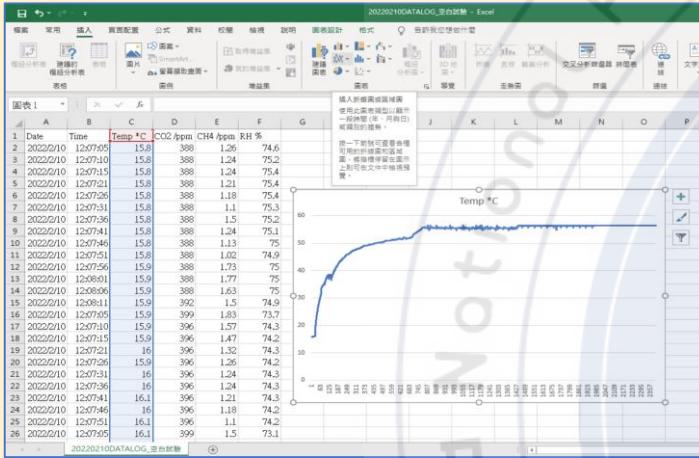


# 研究方法(二)

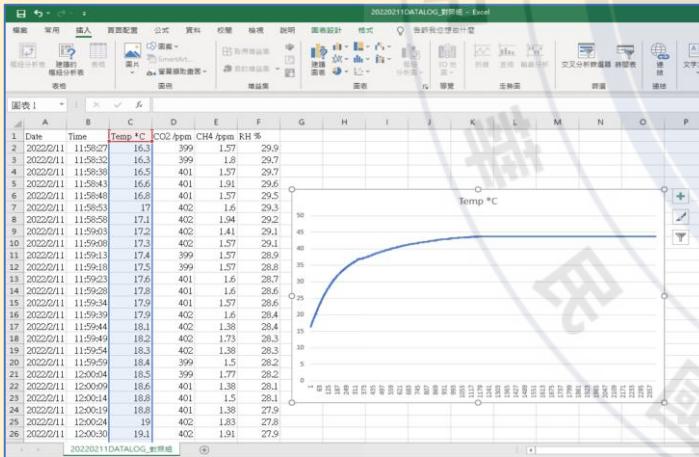
- **二氧化碳標準濃度**：使用大氣環境二氧化碳濃度認定為400ppm
- **二氧化碳感測器校正**：使用統計學Q檢驗 (Q test)確保數據品質
- **二氧化碳數據收集**：使用SD 記憶卡模組記錄及現場顯示器監看
- **二氧化碳實驗設計**：區分空白組、對照組、600ppm、800ppm



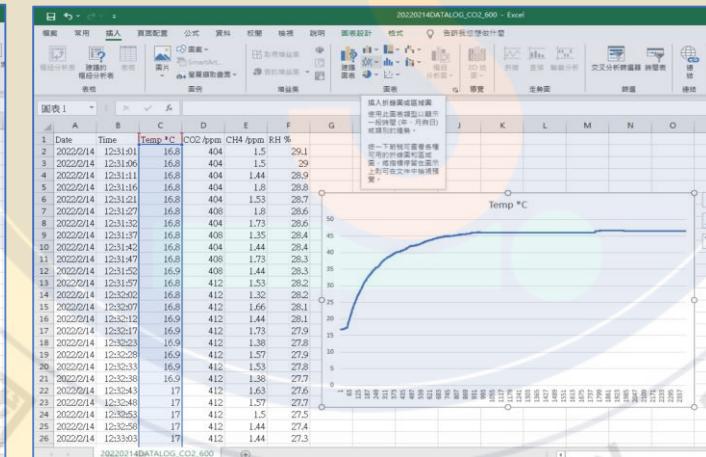
# 研究結果（一）



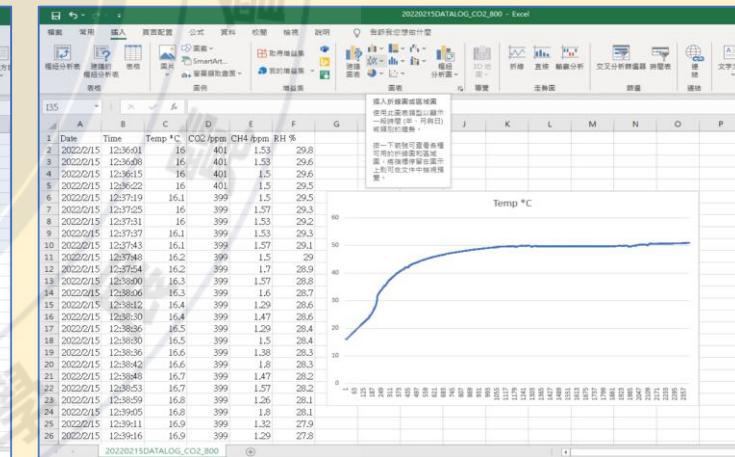
# 111年 2/10空白組400ppm無玻璃屋



# 2/11對照組400ppm



# 2/14 實驗組 600 ppm

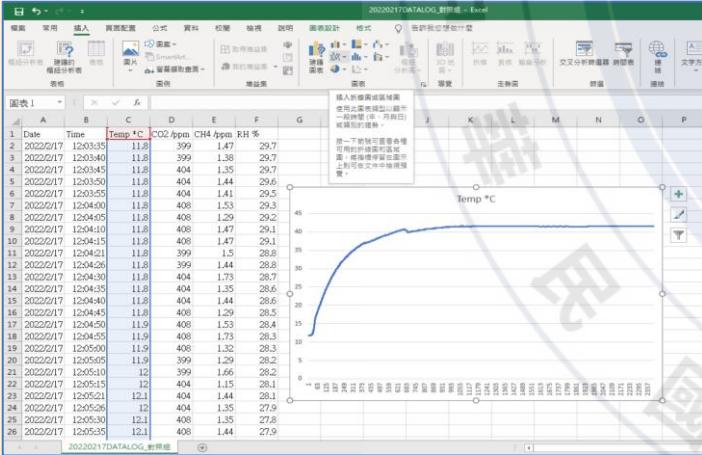
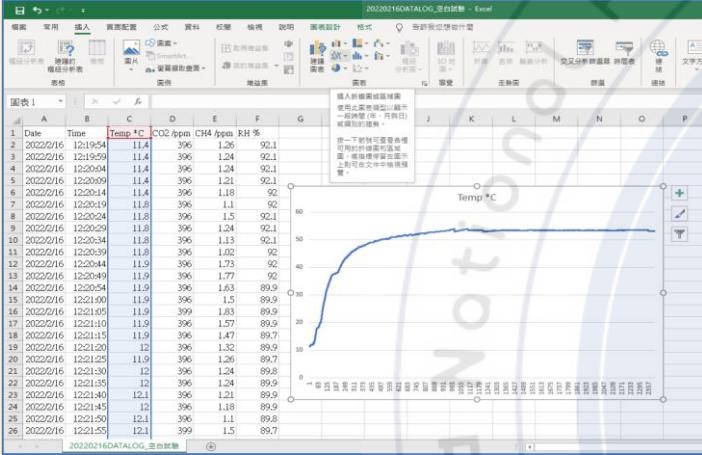


2/15 實驗組 800ppm

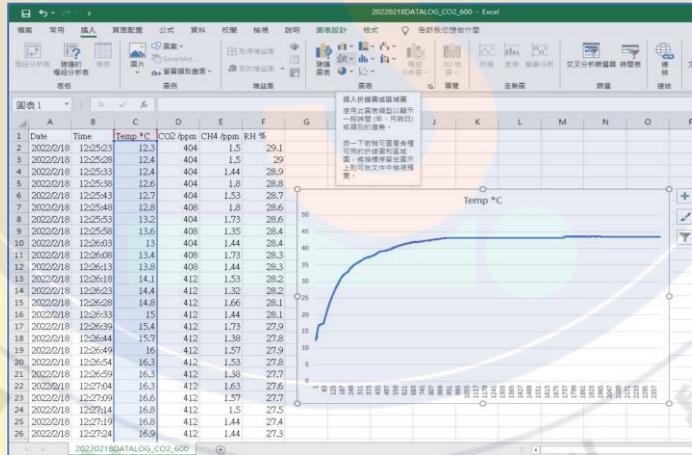
# 研究結果(二)

111年

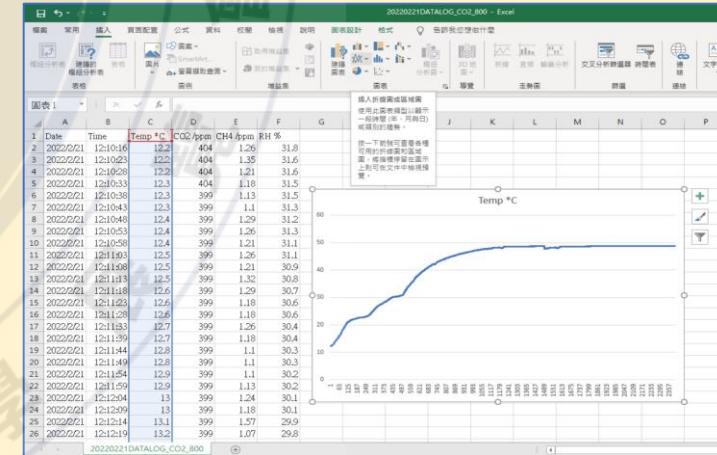
2/16空白組400ppm無玻璃屋



2/17對照組400ppm



2/18實驗組600ppm

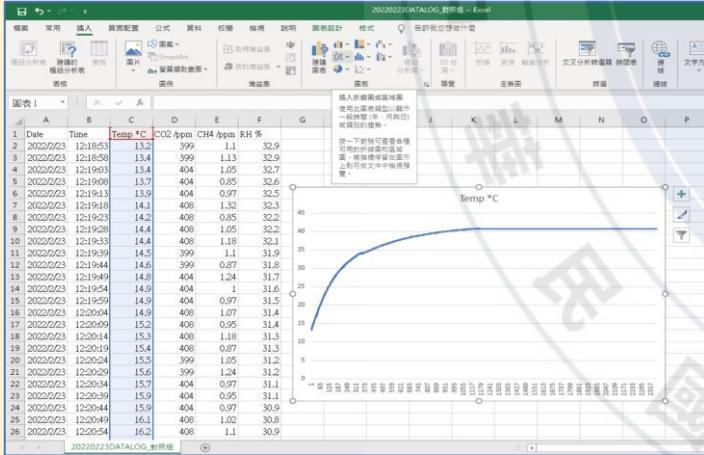
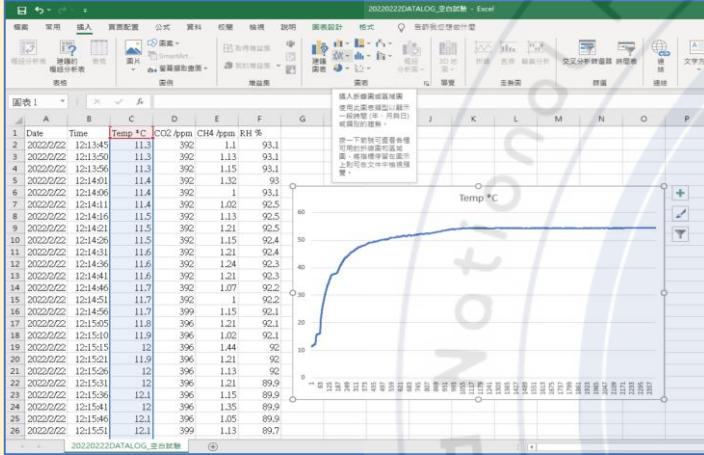


2/21實驗組800ppm

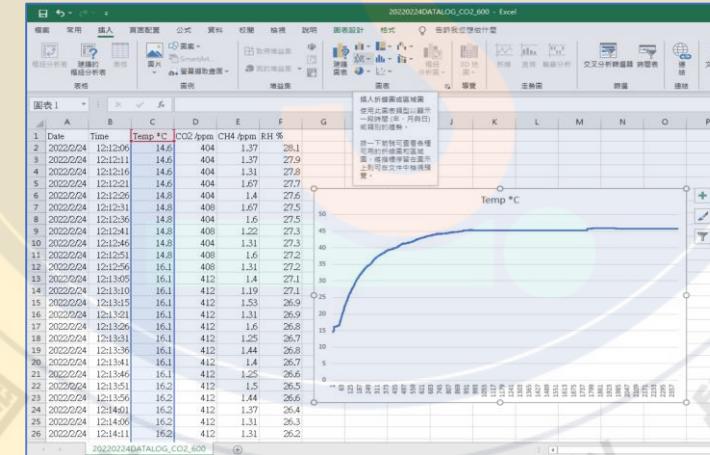
# 研究結果(三)

111年

2/22空白組400ppm無玻璃屋



2/23對照組400ppm



# 研究結果解釋(一)

- 空白組意義：排除實驗環境對結果的影響、可以消除系統誤差
- 研究結果：可視為無溫室效應、光照直接而強烈、升溫效果最強
- 現象解釋：月球表面、水星表面無大氣層則日夜溫差變化大

表5 空白試驗400ppm 監測數據表

標識	2022年2月10日		2022年2月16日		2022年2月22日					
	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫				
空白試驗 溫室外 二氧化碳 400ppm	15.8°C	56.5°C	11.4°C	53.2°C	11.3°C	54.4°C				
	升溫：40.7°C		升溫：41.8°C		升溫：43.1°C					
	平均升溫：41.9°C									

## 研究結果解釋(二)

- 對照組意義：用來作為比較的基準、可以驗證假設的正確性
- 使用零空氣：空氣濾除水氣，視為400ppm零空氣、用來清洗管路
- 實驗品質：實驗前後、使用零空氣清洗，確保實驗品質

表6 對照組400ppm 監測數據表

標識	2022年2月11日		2022年2月17日		2022年2月23日	
對照組 溫室內 二氧化 碳 400ppm	初溫 16.3°C	末溫 43.7°C	初溫 11.8°C	末溫 41.6°C	初溫 13.2°C	末溫 40.8°C
升溫： $27.4^{\circ}\text{C}$		升溫： $29.8^{\circ}\text{C}$		升溫： $27.6^{\circ}\text{C}$		
平均升溫： $28.2^{\circ}\text{C}$						

# 研究結果解釋(三)

實驗組結果： $Y=1.25X+b$ ，Y為末溫，X以100ppm為單位，b為初溫

表7 實驗組600ppm 監測數據表

標識	2022年2月14日		2022年2月18日		2022年2月24日	
實驗組 溫室內 二氧化 碳 600ppm	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫
	16.8°C	46.6°C	12.3°C	43.5°C	14.6°C	45.8°C
	升溫：29.8°C		升溫：31.2°C		升溫：31.2°C	
	平均升溫：30.7°C					

表8 實驗組800ppm 監測數據表

標識	2022年2月15日		2022年2月21日		2022年2月25日	
實驗組 溫室內 二氧化 碳 800ppm	初溫	末溫	初溫	末溫	初溫	末溫
	16.0°C	50.9°C	12.2°C	48.8°C	16.9°C	50.9°C
	升溫：34.9°C		升溫：36.6°C		升溫：34.0°C	
	平均升溫：35.2°C					

# 結論

- **結論一：**二氣化碳會造成溫室效應，經由實驗結果驗證為真。
- **結論二：**二氣化碳濃度越高，溫室效應造成增溫效果越強烈。
- **結論三：**二氣化碳造成的升溫並非線性方程式，僅是簡單預測。
- **結論四：**儘量減少二氣化碳排放到大氣中，避免加劇溫室效應。

# 參考資料

- 1.溫室效應是什麼？溫室氣體有哪些？與全球暖化有什麼關係？(2021年10月15日) • 台北市：綠色和平組織 • 取自 <https://www.greenpeace.org/taiwan/>
- 2.溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG) 或溫室效應氣體 (2022年2月17日) • 高雄市：台灣中油股份有限公司 • 取自 <https://www.cpc.com.tw/cp.aspx?n=245>
- 3.台灣三軸科技 (2020 年 1 月 1 日) •SU4060 中文使用手冊.pdf •取自 <https://www.3axle.com/product/59>
- 4.台灣三軸科技 (2020 年 1 月 1 日) •RDWORKS 軟體操作說明書.pdf •取自：  
<https://www.3axle.com/product/125>
- 5.趙英傑 (2020) •超圖解 Arduino 互動設計入門 •台北市：旗標。
- 6.施威銘研究室 (2018) 物聯網感測器大應用 •台北市：旗標。
- 7.張仁福 (2003) •環境科學導論 •高雄市：高雄復文。
- 8.方金祥 (1998) •微型化學實驗之設計與製作 •高雄市：高雄復文。
- 9.周秋香 (2005) •自然科學與生活科技概論 •新北市：心理。