

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

最佳團隊合作獎

080207

退燒—溫室效應之研究探討

學校名稱：臺中市太平區東平國民小學

作者： 小六 何函育 小六 陳佑昇 小五 盧柔芯 小五 何秉瑋 小五 陳俊昇 小五 莊皓勛	指導老師： 黃聰敏 陳瓊如
---	-------------------------

關鍵詞：溫室效應、溫室模型、二氧化碳

摘 要

本研究主要透過設計模型的模擬實驗進行溫室效應之探討。

研究中設計能模擬實驗之模型，並制訂一套測溫實驗方式，以模型內受光照時的升溫情形，以及停止光照後的降溫情形，作為溫室效應之表徵。研究先探討一定空間內，氣體種類及二氧化碳濃度造成的溫室效應；接著比較模型內「地面高度」、「地表材質」及「天氣狀態」下的溫室效應情形；最後探討如何降低模型內的溫室效應。

研究發現:1.各氣體的溫室效應表現不同，其中以二氧化碳的影響最大，而且濃度越高，溫室效應越明顯。2.溫室模型內在「地表高」、「石地」與「空氣對流」情形下，受光照後較不易降溫。3. 利用「消耗二氧化碳濃度」及「設計屏障遮蔽紅外線」兩項方式都能有效降低模型內的溫室效應。

壹、研究動機

在我們的科研社團時間，老師與大家分享一部 Discovery 『救地球的五個方法』影片；影片內容主要介紹五個科學家提出解決地球暖化現象的建議方案，包含減少太陽照射到地球的熱能以及解決二氧化碳過多的兩大論點。哇！這引發我們好大的感觸和好奇，想對這耳熟能詳的「溫室效應」做進一步的探討。於是，我們想透過實驗模擬溫室效應，利用自然課學習的二氧化碳製作方式，了解二氧化碳對地球暖化的影響，並且嚐試應用科學家提出的創意論點去探討如何降低二氧化碳造成的溫室效應。

貳、研究目的與問題

- 一、比較各種不同氣體造成的溫室效應
- 二、探討二氧化碳濃度對溫室效應的影響
- 三、比較在固定二氧化碳濃度下，不同地表高度的溫室效應
- 四、比較在固定二氧化碳濃度下，不同地面材質的溫室效應
- 五、比較在固定二氧化碳濃度下，不同天氣狀態下的溫室效應
- 六、探討如何應用消耗二氧化碳的方式影響溫室效應
- 七、探討如何應用屏障方式遮蔽紅外線影響溫室效應

參、研究器材

電子溫度計、紅外線燈、冰醋酸、小蘇打粉、注射筒、燒杯、電子秤、氫氧化鈉、電扇、分支量筒、珍珠草、硫粉、蒸發皿、線香、鋁箔、雙氧水、二氧化錳、氮氣、瓦斯、乙烯。

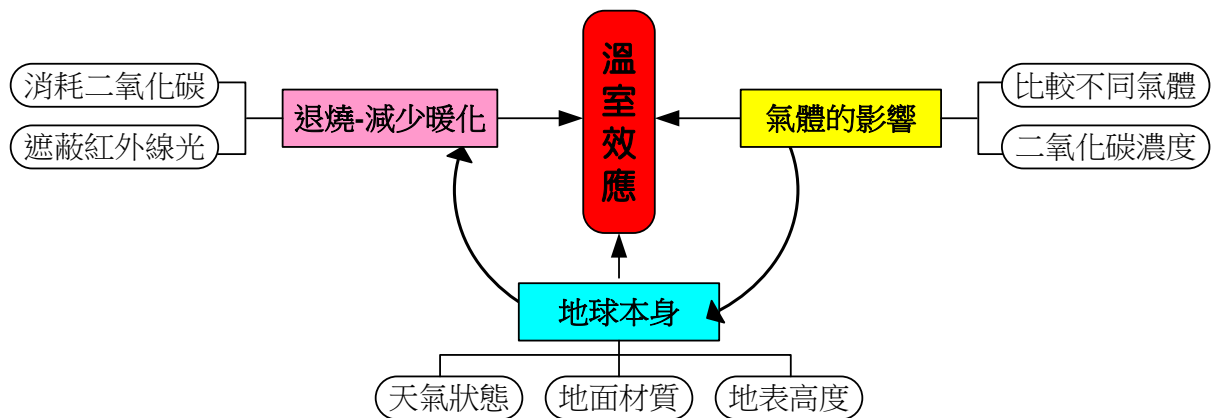
肆、研究前資料閱讀

太陽光照射到地球上，部份熱能被大氣吸收，另一部分則會反射回宇宙。地球上空的大氣層如同覆蓋玻璃的溫室一樣，會使地球上保留的熱能增加，減少反射掉的熱能（維基百科,2011）。近年研究指出，二氧化碳因具有吸收紅外線的特性，所以當大氣中的二氧化碳濃度增加，會使溫室效應更加明顯，引發地球氣溫年年上升，造成地球暖化現象（牛頓,2010）。

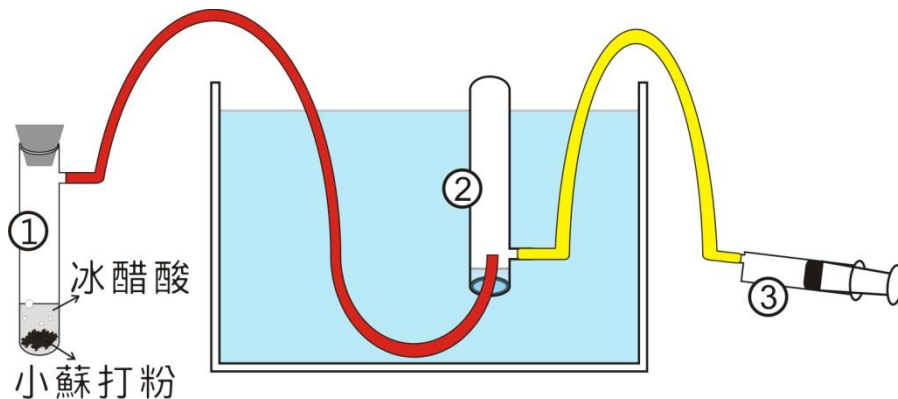
為了解決地球暖化問題，科學家們提出不少建言，Discovery 頻道播出的『救地球的五個方法』影片便介紹五位科學家提出的地球暖化解決方案，其中，有三位是針對減少太陽熱能，使地球降溫的論點，包含亞利桑那州的羅傑安德教授建議在太空中放置大型玻璃遮光罩，將部分陽光反射回太空；荷蘭的保羅克魯森教授提出發射裝滿硫磺的火箭，在地球周遭形成一個大而薄的防曬罩；英國約翰拉坦教授與工程師史蒂芬索特，共同設計出一個遙控遊艇船隊，將海水的細小分子送上雲層，藉此加厚雲層、反射太陽光線。另外，雪梨的伊恩瓊斯教授提議在海洋養殖浮游生物，藉此吸收空氣中的二氧化碳；紐約的克勞斯拉克納教授則設計二氧化碳捕捉器，就像百葉窗的人工樹，將二氧化碳吸收轉為粉末，然後將它埋在海底廢棄的油田或天然氣場下方；這兩種則是以降低二氧化碳濃度的論點，趨緩地球暖化。

伍、研究設計

一、研究架構



二、製作與收集二氧化碳之量化方法



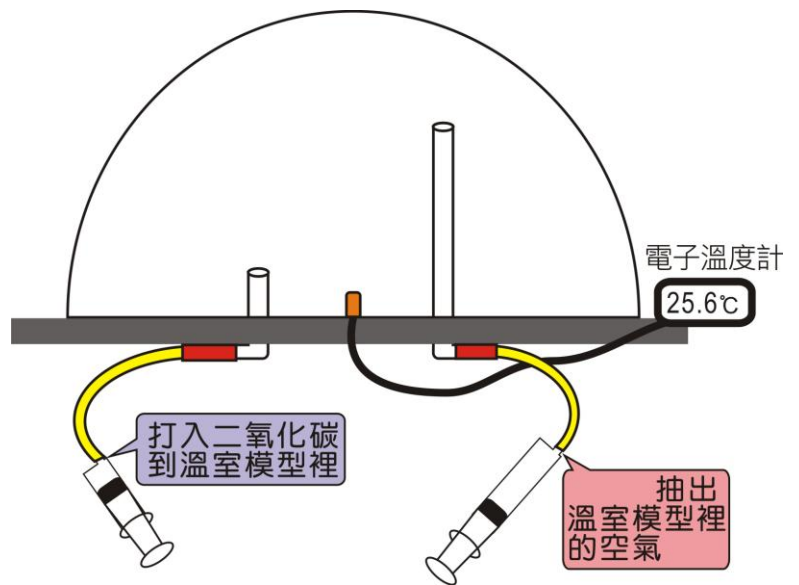
- (一) 取 2 克小蘇打粉和 20ml 冰醋酸，利用①裝置採排水集氣法製造二氧化碳；先集滿一根試管（此管因含一些空氣，捨棄不用）後，才開始計量收集的氣體量。
- (二) 將二氧化碳收集於②中，待氣體排出水至低於試管分支口的位置，開始用③緩慢吸取二氧化碳。
- (三) 每收集一支注射筒(③)即代表 25ml 的二氧化碳；依據此方法計算收集的二氧化碳量。
例如：收集 32 支注射筒，表示有 800ml 二氧化碳。



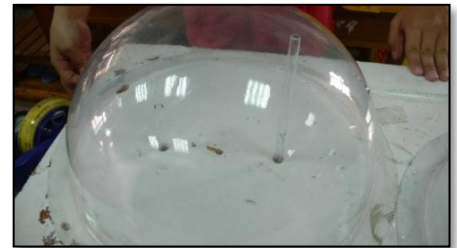
三、溫室模型設計

(一) 實驗組模型

1. 取一個課桌椅的桌面。
2. 鑿三個洞：左右鑽入一低與一高的 L 型玻璃管，中間再穿入電子溫度計的感溫片。



3. 低玻璃管連接橡皮管，再連接集滿二氧化碳的注射筒。
4. 高玻璃管連接橡皮管，再連接一支空的注射筒。
5. 在桌面上蓋一個透明的半球形塑膠罩，利用白膠和膠帶封緊塑膠罩與桌面的接縫。



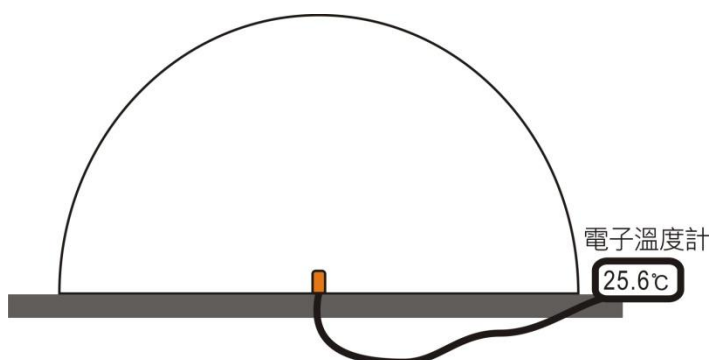
(二) 實驗組置氣體入溫室模型內的方法

1. 利用二氧化碳比空氣重的原理；用集滿二氧化碳的注射筒，從低玻璃管中打入二氧化碳到溫室模型裡。二氧化碳會在模型內的空氣下方。
2. 因空氣較輕會在模型內上層，故從連接高玻璃管的注射筒可抽出模型內的空氣，較不用擔心抽出二氧化碳。
3. 每注入一支集滿二氧化碳的注射筒(25ml)，就抽出一支注射筒容量的空氣；不斷用此方式，將模型內部分空氣置換成本研究中各項實驗所需要的二氧化碳量。
4. 在研究一中，也是利用此方式將實驗的各氣體(氧、氮、瓦斯、乙烯)注入模型內。
5. 用半球形塑膠罩模擬成溫室模型，打入實驗氣體後，便能模擬成地球上空的大氣層；再利用電子溫度計的感溫片，從測得的溫度變化便能得知實驗設計的溫室效應。



(三) 對照組模型

1. 桌面只鑿一個洞，穿入電子溫度計的感溫片。
2. 在桌面上蓋一個透明的半球形塑膠罩，封緊塑膠罩與桌面的接縫。模型內只有空氣。



四、溫室效應之測溫實驗

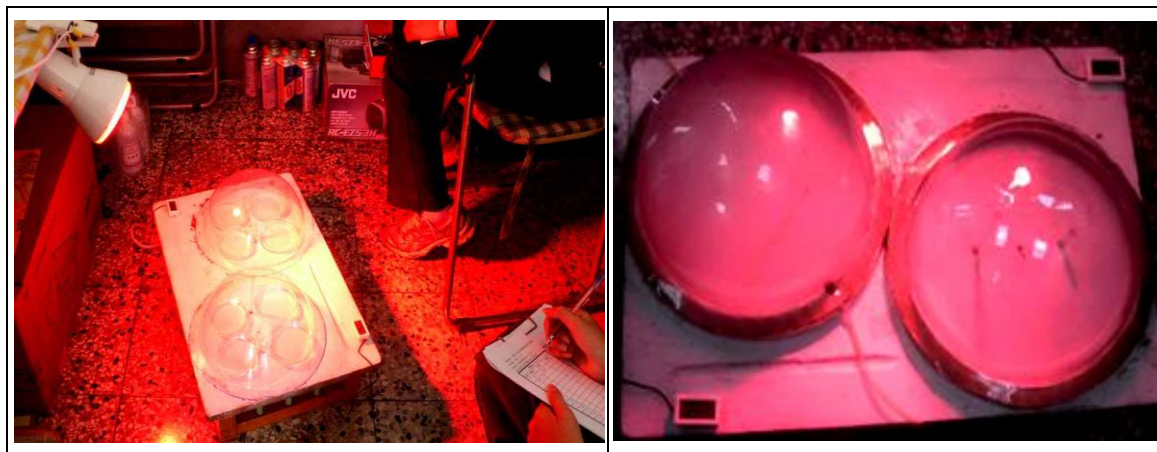
(一) 裝置

1. 將實驗組與對照組模型置在同一個桌面上。
2. 在實驗組模型內注入實驗需要的二氧化碳氣體量。
3. 在兩個模型中心點的等高距離上方，放置一盞紅外線燈（模擬太陽熱能）。



(二) 測溫方式

1. 開啟紅外線燈，並開始計時。
2. 每隔 30 秒分別測量實驗組與對照組溫室模型內的溫度。
3. 測溫到 12 分鐘時，關掉紅外線燈；但仍然每隔 30 秒測量兩個模型內的溫度，再繼續測溫 12 分鐘後結束實驗。
4. 實驗共 24 分鐘；前 12 分鐘為溫室內升溫紀錄（開紅外線燈），後 12 分鐘為溫室內降溫紀錄（關掉紅外線燈）。
5. 研究討論之溫室效應情形，是將每筆記錄的溫度扣掉實驗一開始的初溫；即觀察實驗過程中模型內的升溫與降溫之溫差趨勢，以避免氣候差異，使教室室溫影響實驗結果。

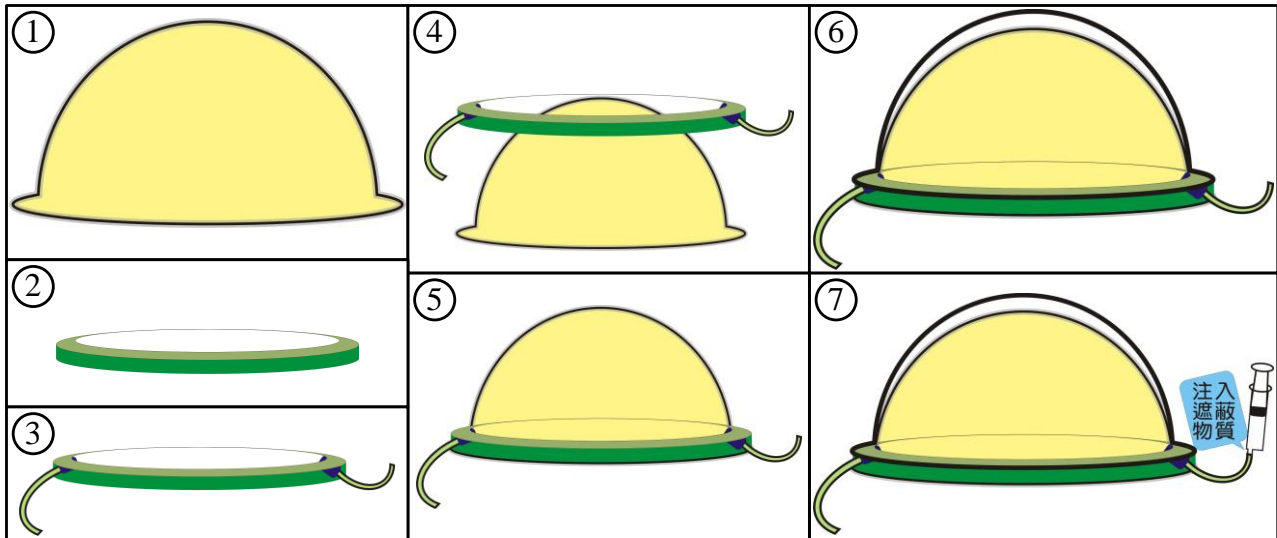


五、屏障式溫室模型設計

為了因應研究七—設計屏障，我們討論要在原溫室模型（含有二氧化碳）上方再增置一個屏障空間放置遮蔽物質（右圖），以探討其遮蔽紅外線光影響溫室效應的情形。



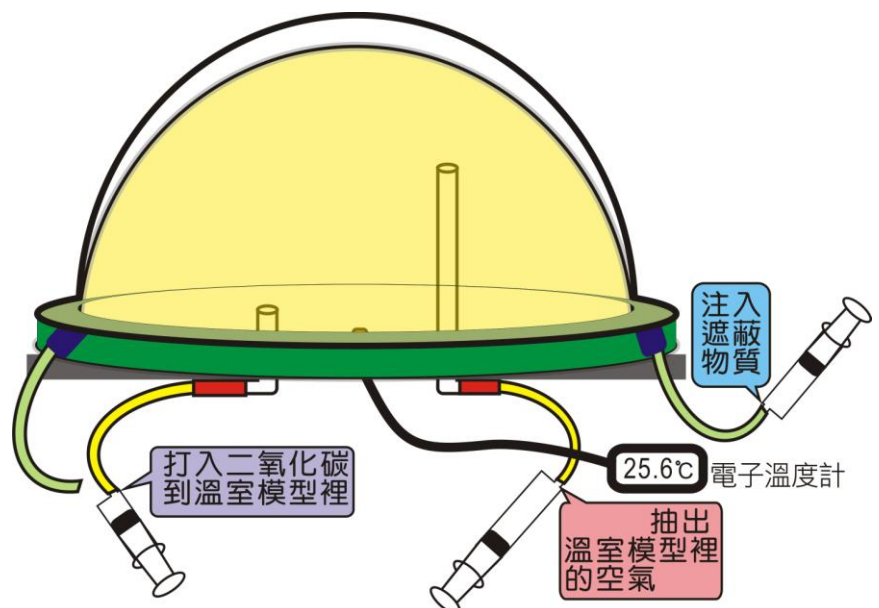
（一）設計



- 1.取一個半球形塑膠罩①，裁切一個同樣直徑的環狀橡膠墊②，並在橡膠墊兩端撮洞，插入軟管③。
- 2.將環狀橡膠墊套入半球形塑膠罩④，並將接縫處黏緊⑤。橡膠墊兩端的軟管在半球形塑膠罩外側。
- 3.再套上另一個半球形塑膠罩，製造出一個屏障空間(⑥圖中白色區域)。
- 4.利用注射筒(先裝滿遮蔽物質,例如:二氧化硫),從橡膠墊的一端軟管注入遮蔽物質到屏障空間內⑦。

（二）實驗方式

- 1.注入屏障物質到屏障式溫室模型的屏障空間內(圖中白色區域)。
- 2.將屏障式溫室模型罩上已架好玻璃管及溫度計感溫片的桌面上。
- 3.注入研究七實驗所需要的二氧化碳量到溫室模型內(圖中黃色區域)。
- 4.開始做溫室效應測溫實驗。



六、氣體收集方式

(一) 氧氣

利用排水集氣法收集。 雙氧水 $\xrightarrow{\text{二氧化錳}}$ 氧 + 水

(二) 氮氣

我們去汽車輪胎行索取氮氣（用塑膠袋裝），再用注射筒抽出，注入溫室模型內。

(三) 瓦斯(桶裝液化瓦斯，含丙、丁烷)



(四) 乙烯

收集蘋果與香蕉熟成(放置一週)時產生的乙烯（右圖）後，再用注射筒抽出，注入溫室模型內。

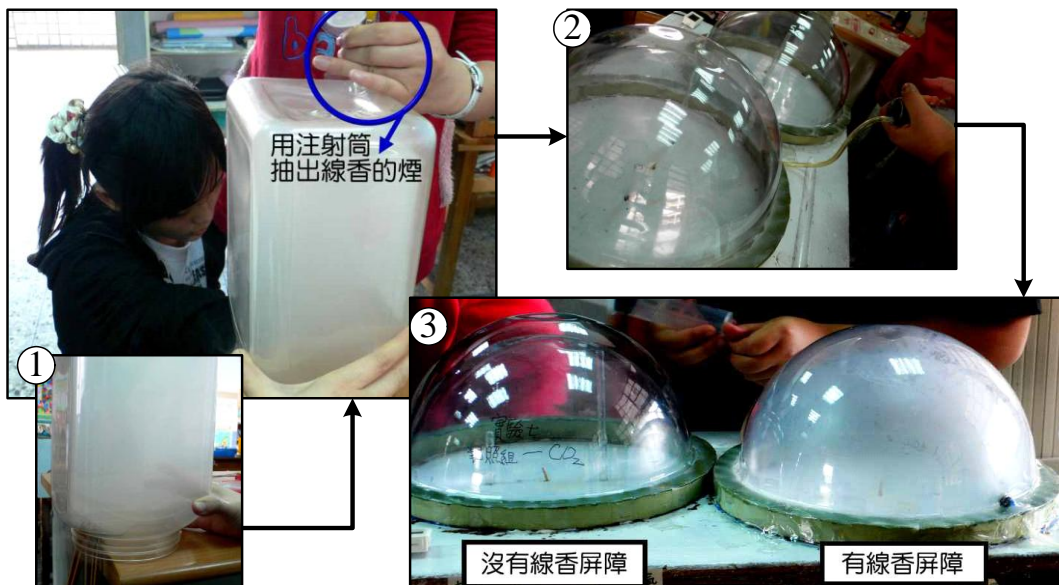


(五) 二氧化硫

燃燒硫粉，收集二氧化硫。 硫 + 氧 \longrightarrow 二氧化硫



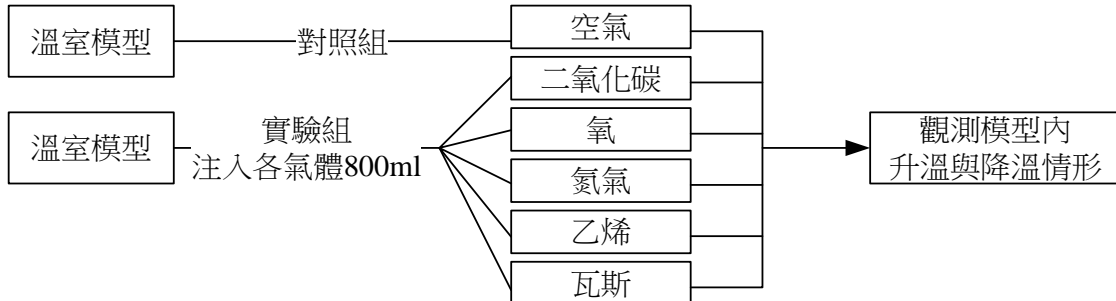
(六) 線香(煙)



陸、研究過程、結果與討論

研究一 比較各種不同氣體造成的溫室效應

一、過程



二、結果

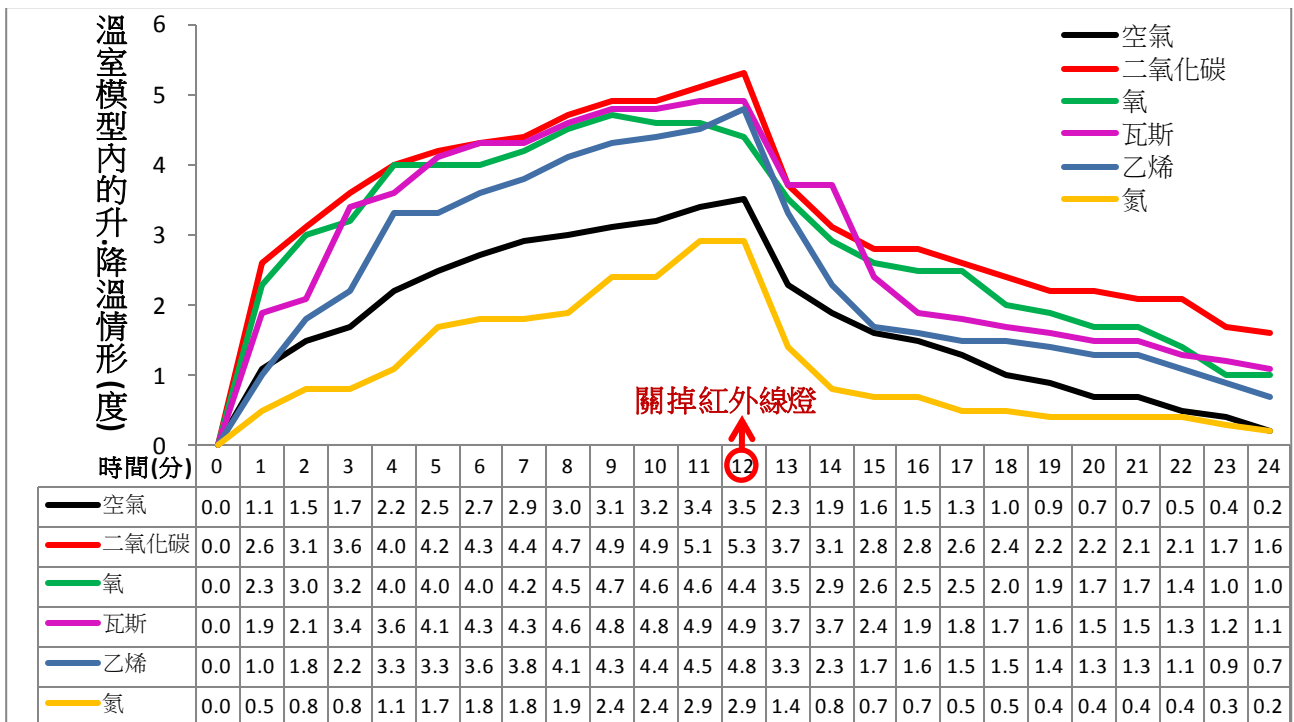


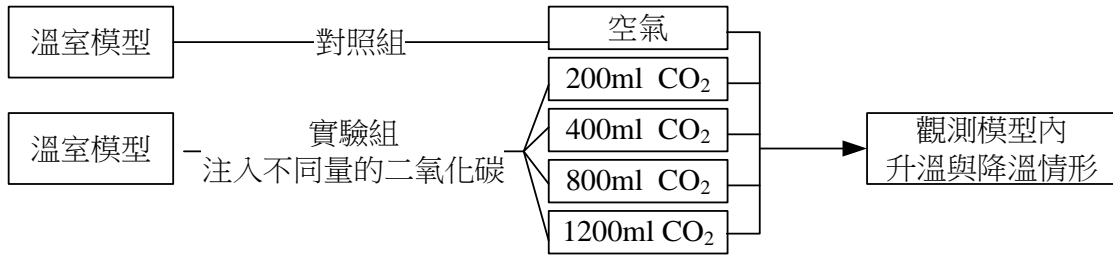
圖 6-1 不同氣體在模型內造成溫室效應的情形

三、討論

- (一) 除了氮氣，其他氣體的溫室效應都比空氣明顯；受光照時模型內升溫得比空氣多，停止光照後，模型內也降溫得比空氣少。這些氣體中以二氧化碳的溫室效應情形最明顯。
- (二) 造成溫室效應的氣體除了二氧化碳，還有氟氯碳化物、甲烷、氯化亞氮及臭氧。在我們的實驗中，雖然只有二氧化碳是溫室氣體，但是其他氣體，如：氧、瓦斯(丙、丁烷)和乙烯的溫室效應情形都比空氣明顯，尤其是模型內受光照時的升溫幅度。
- (三) 空氣中有近 80%的氣體是氮；我們模擬實驗後發現，當大氣中含高濃度氮氣時，卻能明顯降低溫室效應，這倒是很令人驚奇。

研究二 探討二氧化碳濃度對溫室效應的影響

一、過程



二、結果

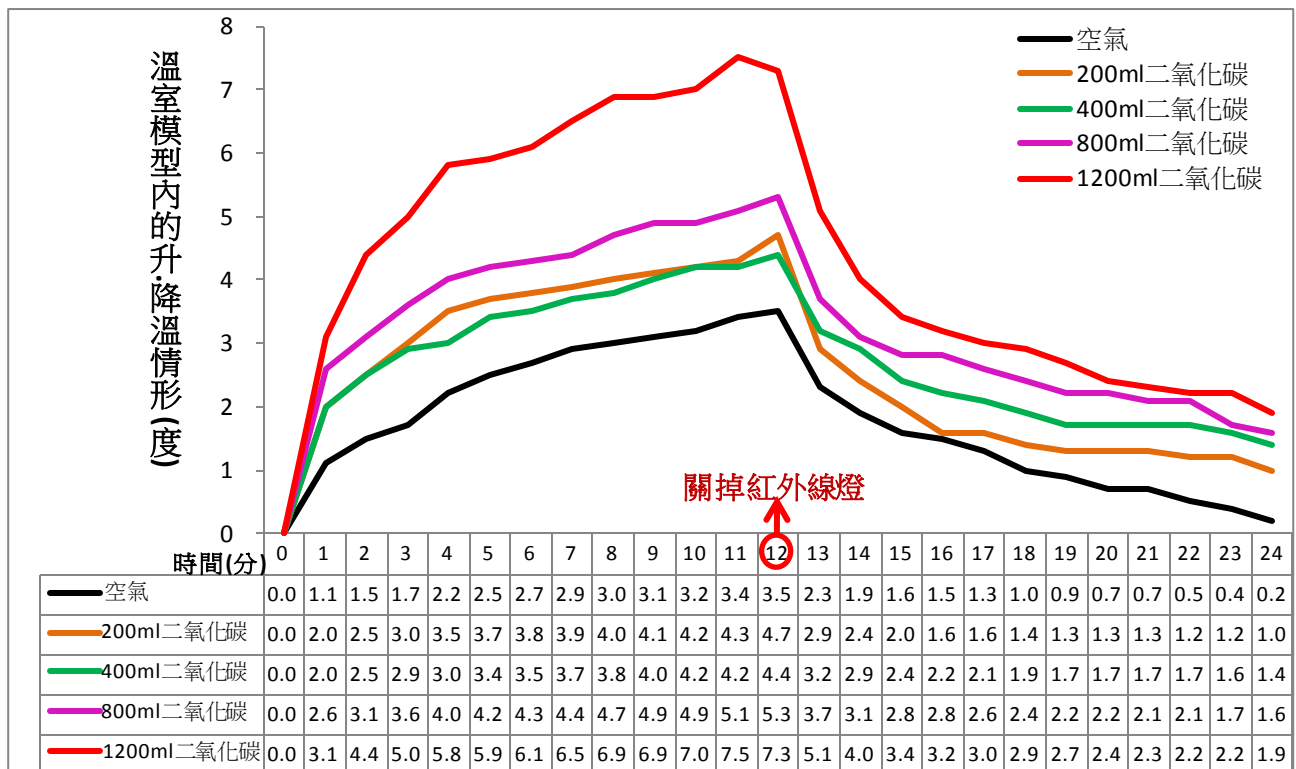


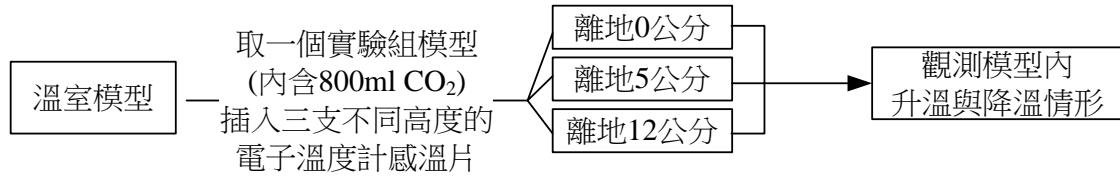
圖 6-2 不同二氧化碳濃度在模型內造成溫室效應的情形

三、討論

- (一) 四組實驗組的溫室效應都比對照組明顯；尤其當模型內二氧化碳量越高，受光照時的升溫情形越多、停止光照後的降溫情形會越少。
- (二) 實驗結果與相關資料相符；當大氣中二氧化碳濃度越高，其溫室效應會越明顯，使地球暖化現象越嚴重。
- (三) 此實驗結果可推測：光照時，二氧化碳發揮吸收紅外線光的特性，使模型內溫度上升加速；停止光照時，二氧化碳吸收紅外線光的熱能留置在模型內，無法反射離開；隨著二氧化碳濃度增高，溫室模型內更不容易降溫。結果圖能明顯呈現，溫室中升、降溫的情形與二氧化碳濃度有明顯的關係。

研究三 比較在固定二氧化碳濃度下，不同地表高度的溫室效應

一、過程



二、結果

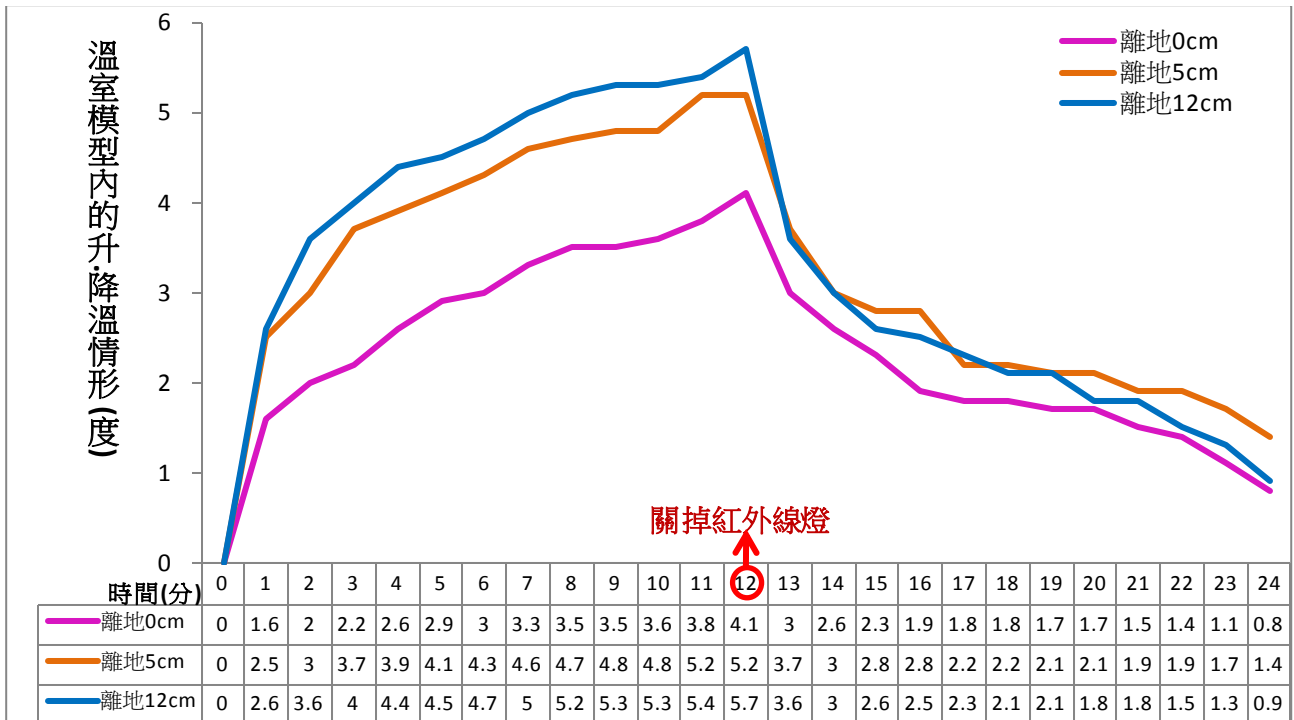
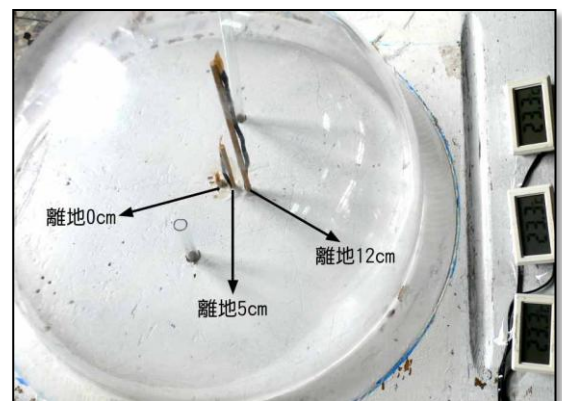


圖 6-3 固定二氧化碳濃度,比較模型內不同地表高度處的溫室效應情形

三、討論

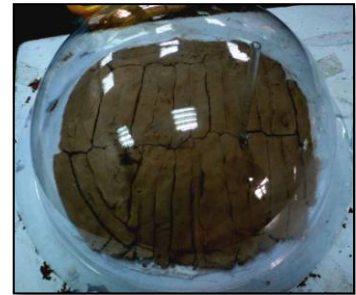
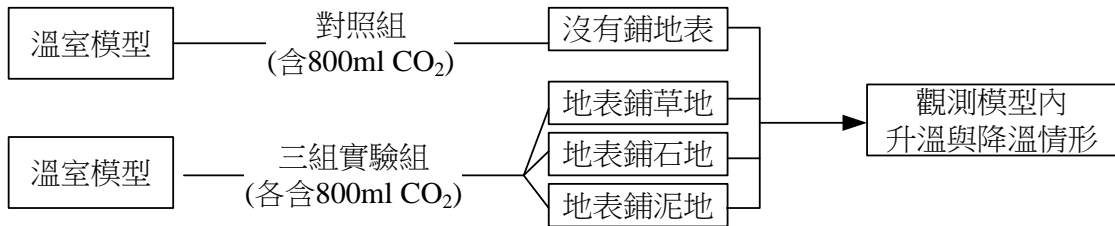
(一) 光照時，我們發現離地越高處，升溫幅度越大；可見離熱源較近，會使溫度上升得較高。

(二) 停止光照時，離地 0 公分處降溫最快；而離地 5 公分處反而降溫得比 12 公分慢。我們推測這應是因為停止光照時，地表會往上反射熱能，所以愈低處，降溫會愈快。而離地 5 和 12 公分處都受到下層大氣反射的熱能包圍，導致降溫緩慢；尤其離地 5 公分處，因與地表較近（差距 5 公分），比離地 12 公分處（與下層差距 7 公分）受到較多反射熱能，所以該處的降溫情形最差，溫室效應最明顯。



研究四 比較在固定二氧化碳濃度下，不同地表材質的溫室效應

一、過程



二、結果

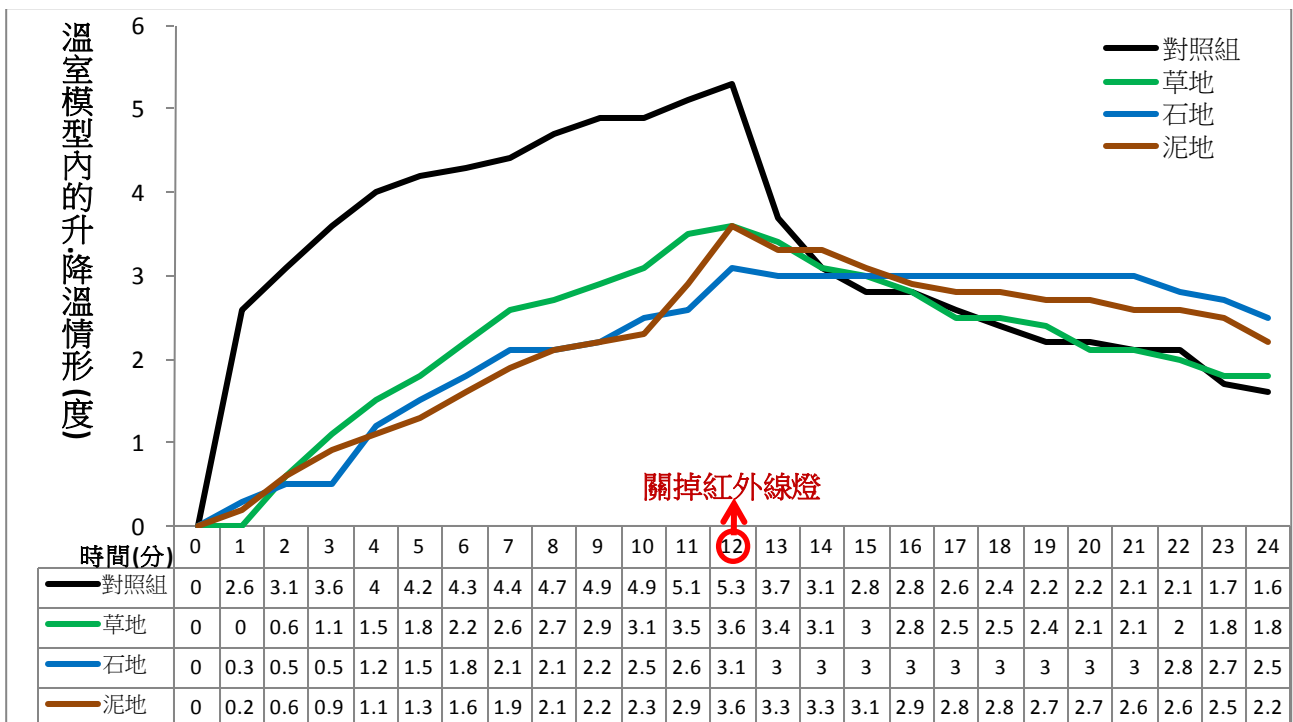


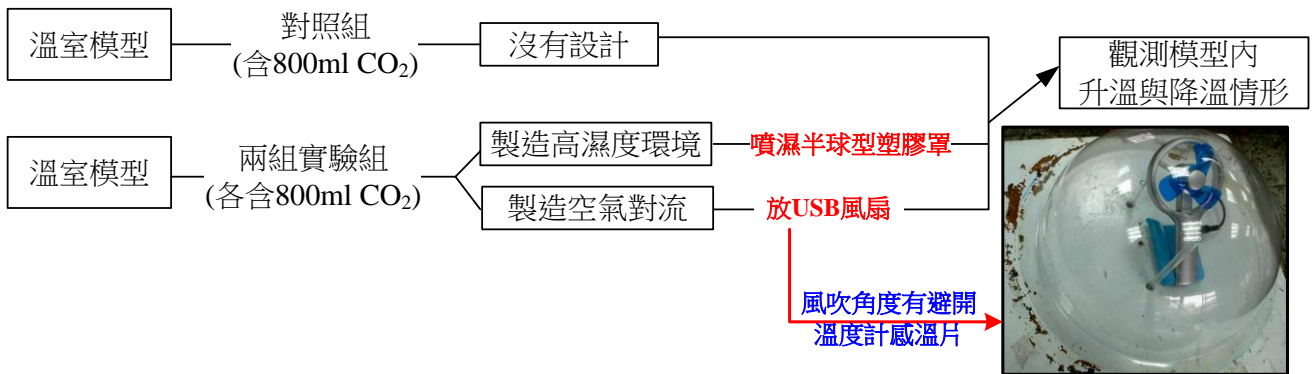
圖 6-4 固定二氧化碳濃度,比較模型內不同地表材質的溫室效應情形

三、討論

- (一) 三組實驗組的升溫幅度都比對照組小，但降溫情形都比對照組略差；可見地質差異主要影響地表反射熱的速度。
- (二) 比較三種地質，可推測：實驗剛開始，泥地較濕、石地較冷，短時間受光照時吸熱慢，所以升溫幅度小。當光照停止時，地表往上反射熱能開始降溫，草地最快降溫，而石地的熱反射效果最差，最不易降溫。

研究五 比較在固定二氧化碳濃度下，不同天氣狀態下的溫室效應

一、過程



二、結果

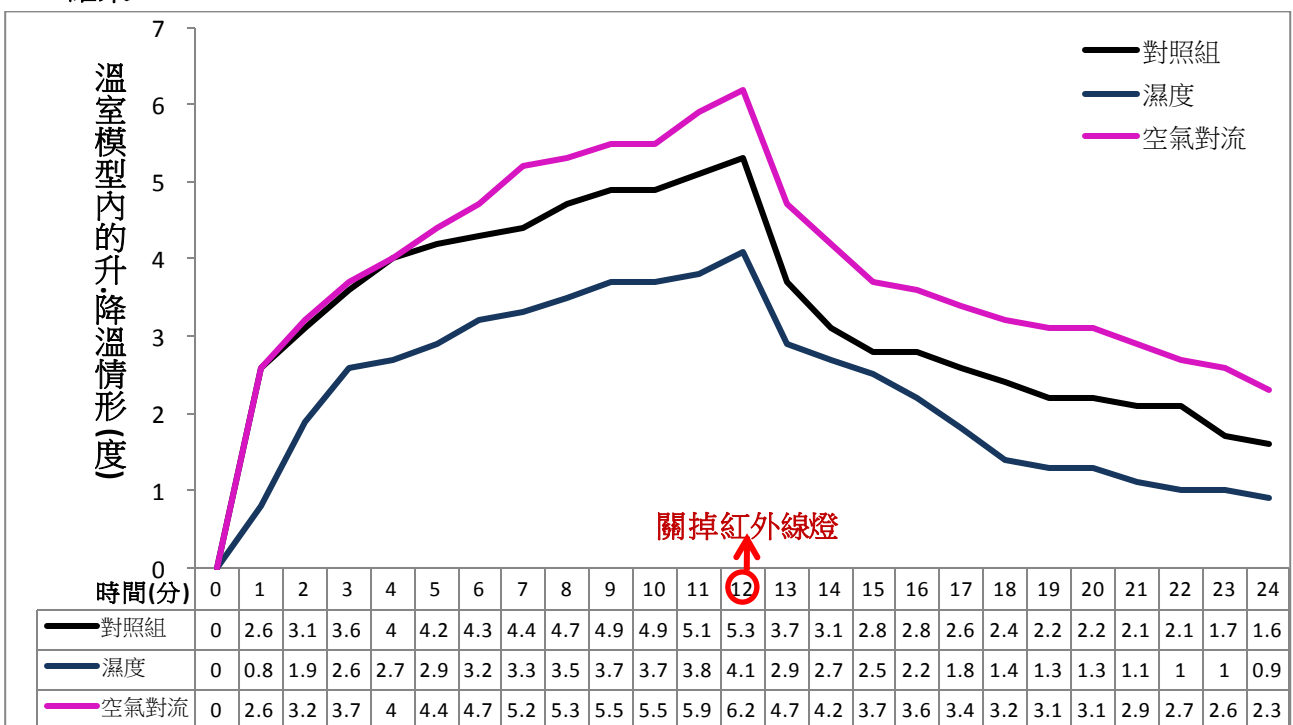


圖 6-5 固定二氧化碳濃度,比較模型內不同天氣狀態下的溫室效應情形

三、討論

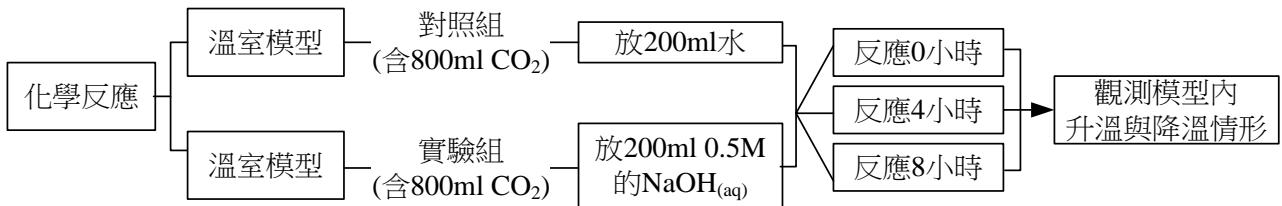
- (一) 陰、雨天和起風的日子都令人感覺涼意，這樣的天氣似乎都能使溫室效應較不明顯。因此我們設計「濕度」與「空氣對流」兩種天氣狀態，與對照組比較其溫室效應。
- (二) 實驗結果與預期有些差距；「濕度」狀態的確能趨緩溫室效應，不但升溫慢，停止光照後，降溫得也較快。而「空氣對流」的實驗結果則出乎意料，其溫室效應更嚴重；有風狀態下，受光照時不但溫度上升快，停止光照時，「風」反而使溫度不易下降。
- (三) 經過大家的討論與推測，我們認為「風」在「模型」內，造成溫室大氣內二氧化碳吸收紅外線的反應速度加快，更容易吸收熱能，也更不容易反射熱能，所以升溫快、降溫慢，與「沒有風的狀態」比較，其溫室效應更嚴重。

研究六 探討如何應用消耗二氧化碳的方式影響溫室效應

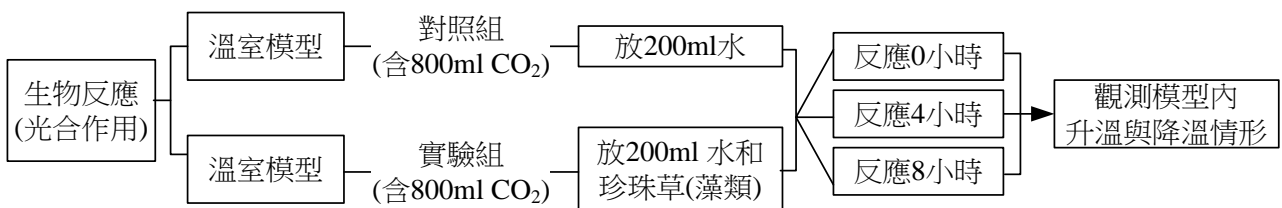
一、過程

我們在此研究中，設計兩種消耗大氣中二氧化碳濃度的反應；第一項實驗是應用氫氧化鈉與二氧化碳的化學反應 ($\text{NaOH}_{(aq)} + \text{CO}_2(g) \rightarrow \text{NaHCO}_3(aq)$)；第二項實驗是採植物行光合作用時消耗二氧化碳的生物反應 ($6\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(l) + \text{光} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(aq) + 6\text{O}_2(g)$)。

(一) 實驗一：利用氫氧化鈉消耗大氣中的二氧化碳濃度



(二) 實驗二：利用藻類（珍珠草）行光合作用消耗大氣中的二氧化碳濃度



二、結果

此研究的兩項實驗都設計三個實驗時間（反應 0 時、4 時和 8 時），目地是為了觀察、比較在反應過程中，隨著消耗二氧化碳的反應時間加長，對模型內的溫室效應之影響情形。

(一) 實驗一：利用氫氧化鈉消耗大氣中的二氧化碳濃度

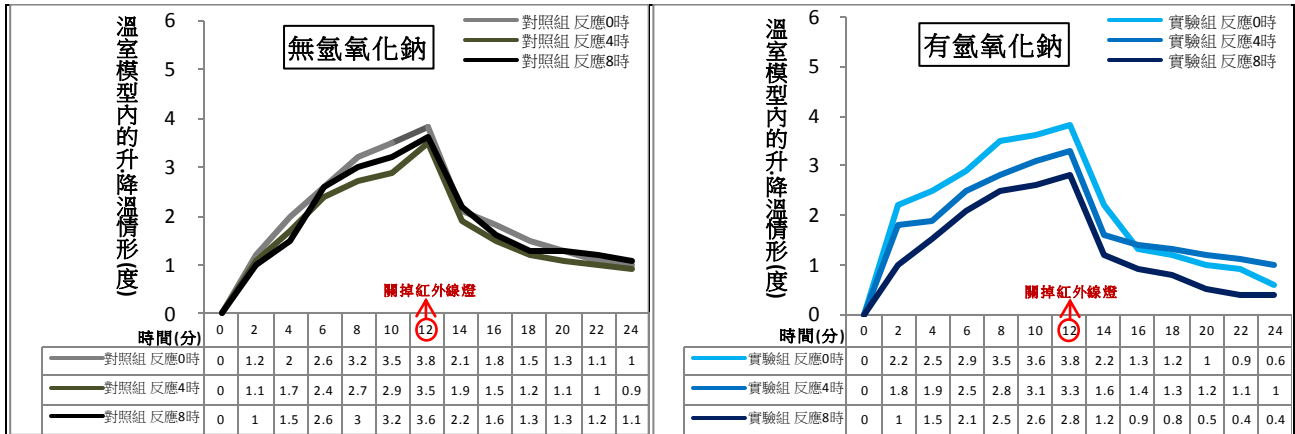


圖 6-6 比較在不同的反應時間,利用氫氧化鈉消耗二氧化碳所造成的溫室效應情形

1. 實驗一開始（反應 0 時），氫氧化鈉尚未與二氧化碳反應，所以實驗組與對照組的升溫及降溫情形差距不大。
2. 實驗三個時段（反應 0 時、4 時和 8 時），對照組的溫室效應情形都很相近；反觀實驗組，可發現反應時間越長，溫室內受光照時的升溫趨勢越緩，而且停止光照後的降溫速度越快；由此結果可驗證：當氫氧化鈉與二氧化碳反應，使大氣中的二氧化碳濃度降低越多，越能有效降低溫室效應。

(二) 實驗二：利用藻類（珍珠草）行光合作用消耗大氣中的二氧化碳濃度

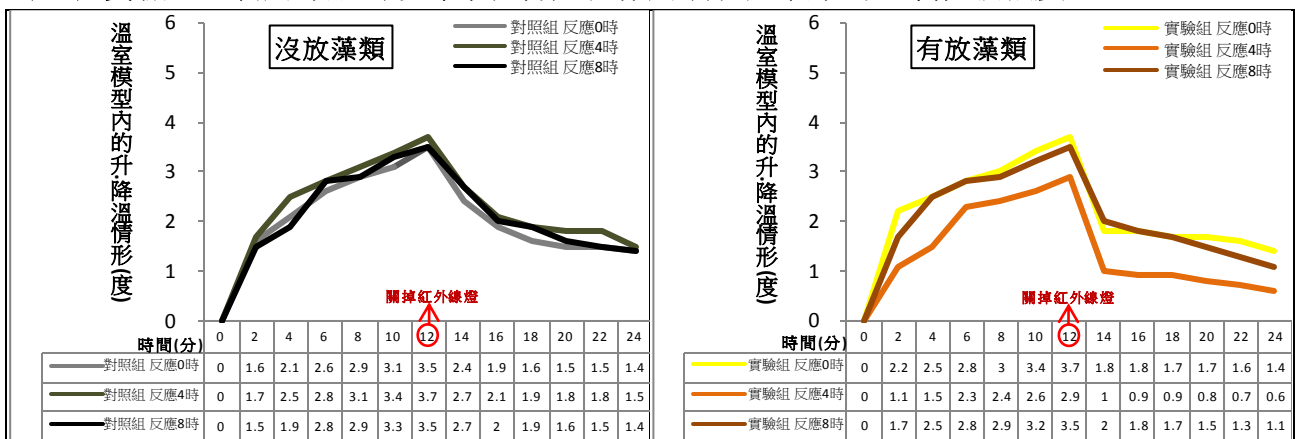


圖 6-7 比較在不同的反應時間,利用藻類消耗二氧化碳所造成的溫室效應情形

1. 實驗一開始（反應 0 時），藻類尚未行光合作用吸收二氧化碳，所以實驗組與對照組的升溫及降溫情形差距不大。
2. 實驗三個時段（反應 0 時、4 時和 8 時），對照組的溫室效應情形都相近；實驗組中反應 0 時和 8 時，其溫室內受光照時的升溫、及停止光照後的降溫情形都與對照組的實驗結果相似；只有反應 4 時的實驗結果能表現，模型內的溫室效應有減少（升溫慢、降溫快）。

三、討論

瑞典的化學家阿瑞尼士(Arrhenius)是第一位提出「大氣中二氧化碳的增加會使氣溫上升」的科學家(牛頓,2010)。近年來「節能減碳」的聲浪不斷,大家都知道減少二氧化碳是降低溫室效應的一個方法;而且根據 Discovery 『救地球的五個方法』影片中伊恩瓊斯教授(提議在海洋養殖浮游生物)及克勞斯拉克納教授(設計二氧化碳捕捉器)提出的論點,都認為降低大氣中二氧化碳濃度,可以趨緩地球暖化。因此,我們認為消耗一定空間內(溫室模型)的二氧化碳濃度,對減少溫室效應具有幫助;只是在此研究中,我們更想比較不同消耗二氧化碳的方式,其對溫室效應的影響,我們發現:

(一) 降低大氣中的二氧化碳濃度對減少溫室效應具有幫助

1. 從兩項實驗中,兩組對照組各三個反應時間的實驗結果能證明(圖 6-6 和 6-7),當一定空間內(溫室模型)的二氧化碳濃度(保持 800ml CO₂)維持不變時,照光時升溫和停止光照時降溫的情形都是相似的。
2. 從氫氧化鈉的實驗組中三個反應時間的實驗結果能證明(圖 6-6),當一定空間內(溫室模型)的二氧化碳濃度(保持 800ml CO₂)降低時,會影響其照光時升溫和停止光照時降溫的情形,而且隨著反應時間增加,二氧化碳濃度越低,越能減少模型內的溫室效應情形。

(二) 有效的消耗二氧化碳方式才能有效減少溫室效應

1. 在自然課中,我們學習得知;植物會行光合作用,所以能消耗大氣中的二氧化碳。此實驗結果似乎只有在反應 4 時,模型內的二氧化碳濃度有降低,所以能幫助減少溫室效應;反應越久(8 時),模型內的溫室效應卻變成與實驗一開始(反應 0 時)的情形相似。經過一番思索與討論,我們推測出兩個原因:(1) 藻類除了行光合作用外,還有蒸散及呼吸作用,不但使空間內水蒸氣增加,也會造成模型內二氧化碳量的不穩定,其中的反應機制是我們現階段學習尚無法了解。(2) 植物行光合作用會消耗二氧化碳,但同時也會釋放出氧氣;在研究一我們發現模型內高濃度「氧」造成的溫室效應比只有「空氣」時還嚴重(圖 6-1);但「氧」不屬於溫室氣體,也沒有參考資料提到「氧」對溫室效應有影響,因此我們只能根據實驗結果推測,尚無法証實。
2. 比較兩項實驗結果(圖 6-8),可看出氫氧化鈉的化學反應比藻類行光合作用的生物反應更能影響模型內的溫室效應。所以選擇有效消耗二氧化碳的方式才能有效減少溫室效應。

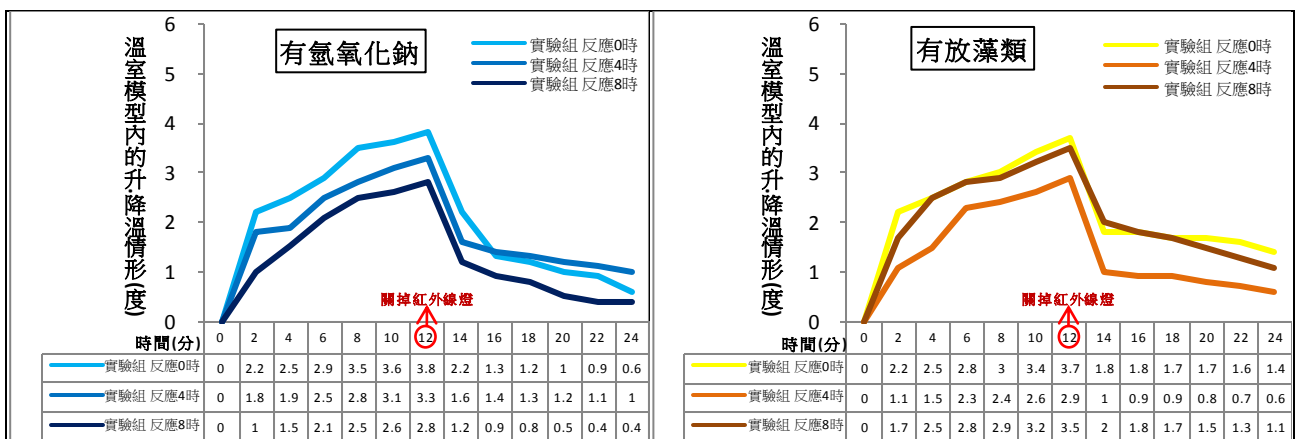


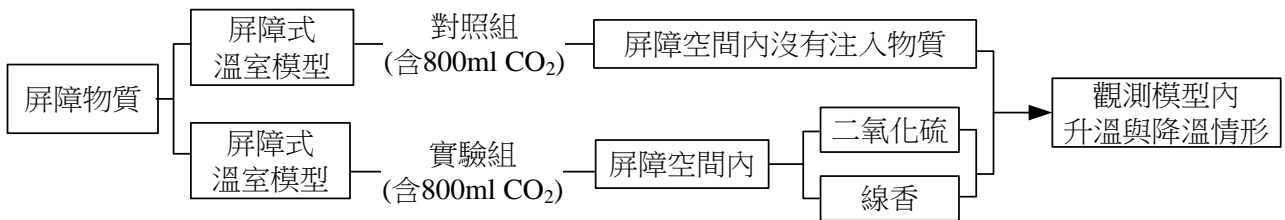
圖 6-8 比較利用氫氧化鈉和藻類消耗二氧化碳兩種方式所造成的溫室效應情形

研究七 探討如何應用屏障方式遮蔽紅外線影響溫室效應

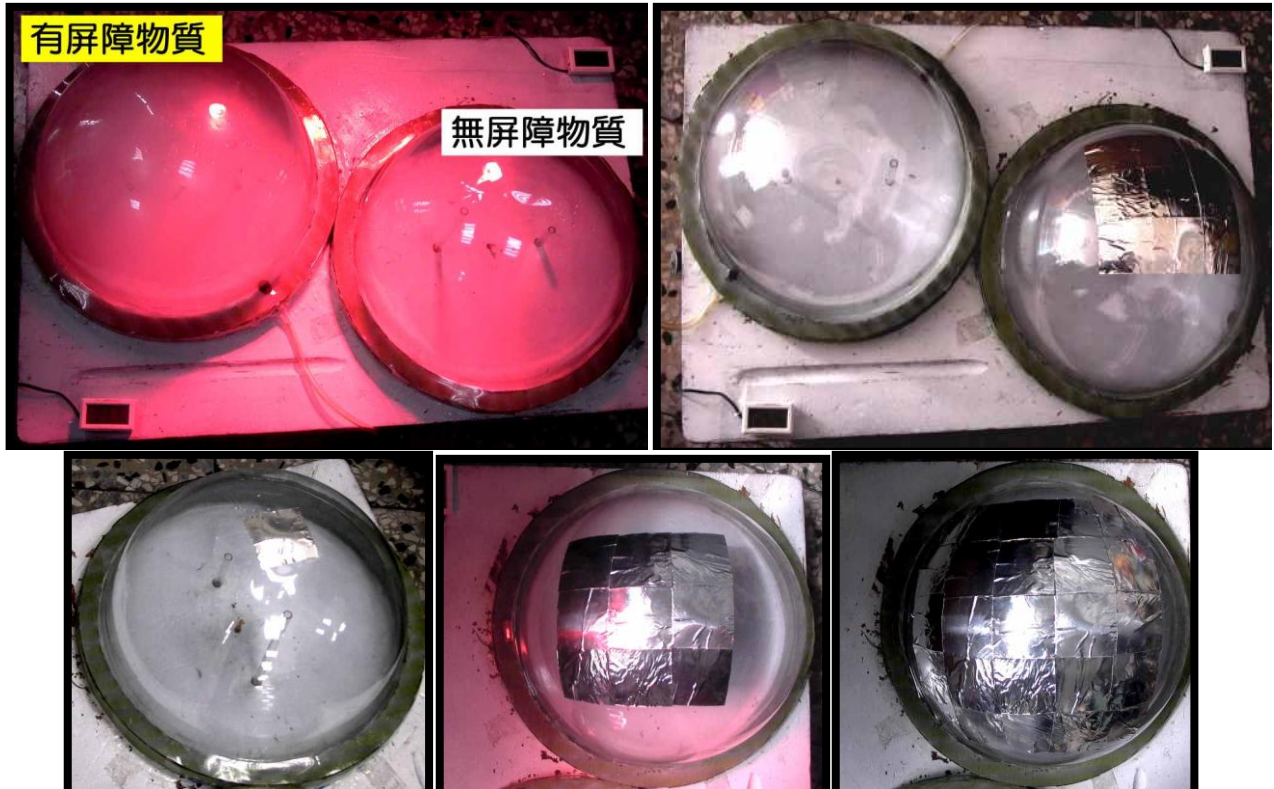
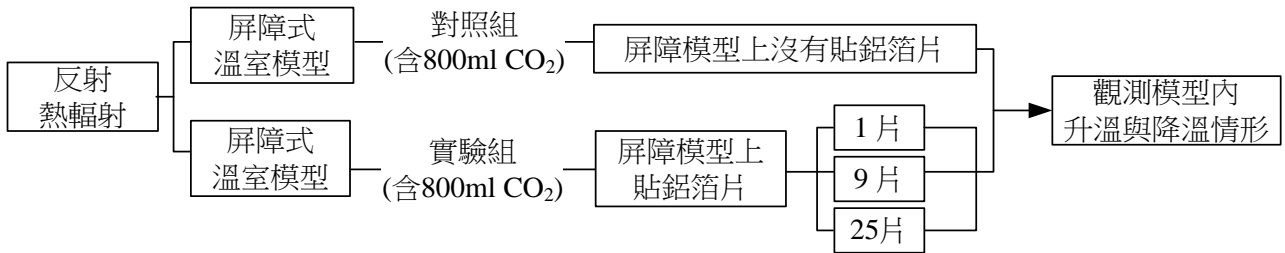
一、過程

我們在此研究中，設計兩種遮蔽紅外線的屏障方式，並且都是利用屏障式溫室模型（見屏障式溫室模型設計之說明）進行實驗；第一項實驗是應用「屏障物質」，在模型上的屏障空間內注入物質，企圖在大氣上製造一層防曬罩，此實驗利用「二氧化硫」及「線香」兩種物質；第二項實驗是應用「鋁箔片」在模型上製造不同的屏障面積，藉以反射掉紅外線燈照到模型內的輻射熱能。

（一）實驗一：利用屏障物質遮蔽模型上空的紅外線



（二）實驗二：利用鋁箔片屏障反射輻射熱遮蔽模型上空的紅外線



二、結果

兩項實驗都能發現實驗組模型內受光照時的升溫趨勢比對照組慢，且停止光照後的降溫趨勢比對照組快；結果可驗證：應用屏障方式遮蔽紅外線是可以減少溫室內的溫室效應。

(一) 實驗一：利用屏障物質遮蔽模型上空的紅外線

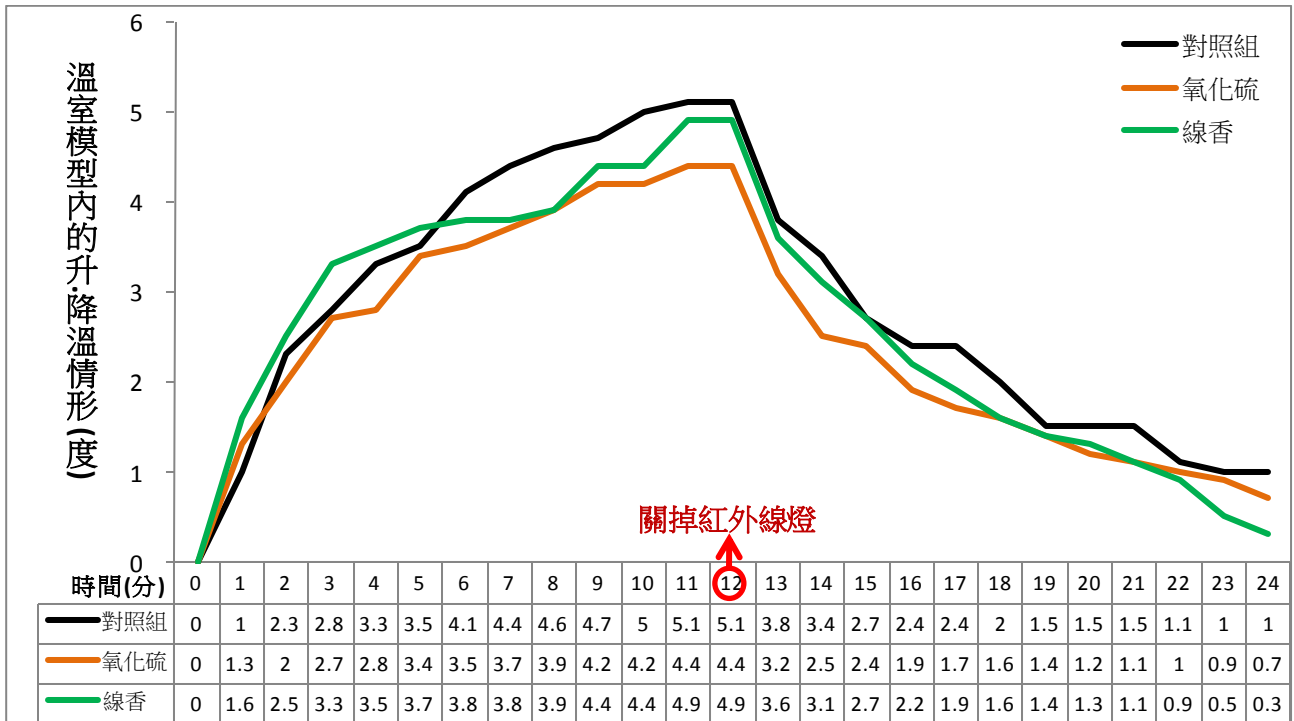


圖 6-9 應用屏障物質遮蔽紅外線所造成的溫室效應情形

(二) 實驗二：利用鋁箔片反射輻射熱遮蔽模型上空的紅外線

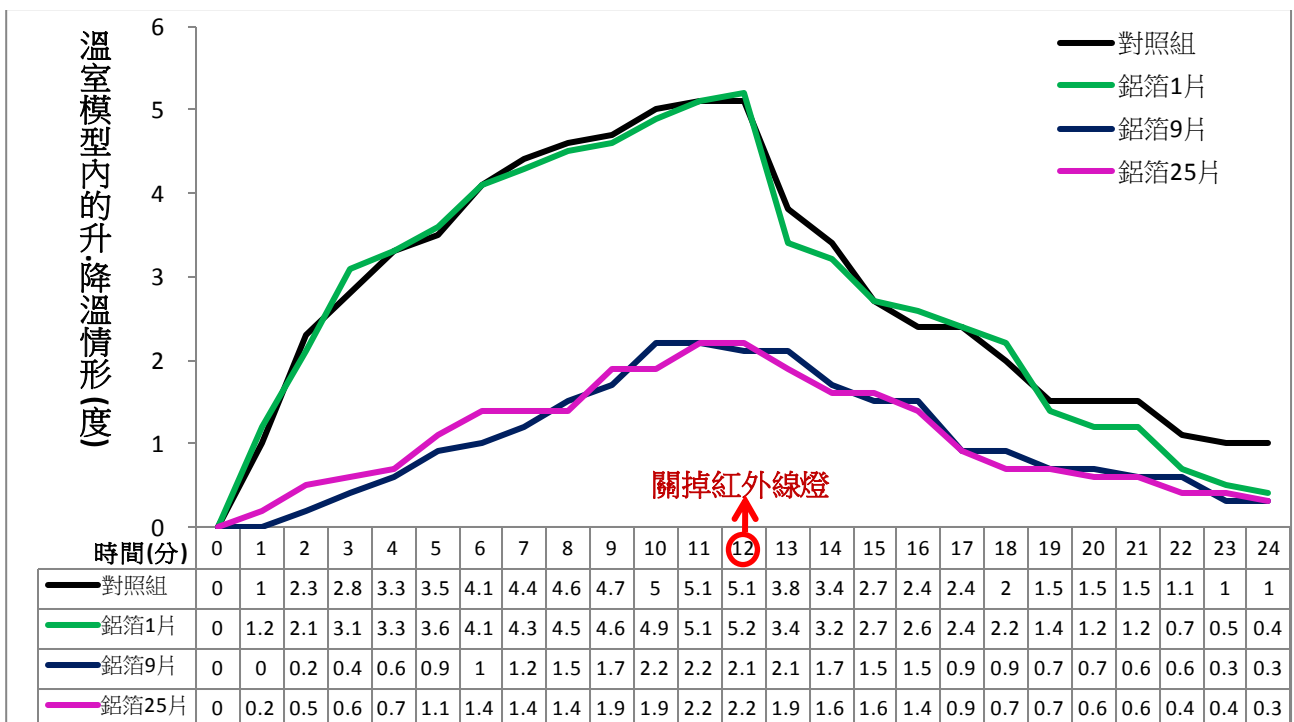


圖 6-10 應用鋁箔屏障反射紅外線熱能造成的溫室效應情形

三、討論

陽光照射地球，陽光中的紅外線會穿過大氣層到地表，而地表反射放出的紅外線受到大氣的阻攔，使地球保持一定的溫暖；所以說「紅外線」是地球暖化的關鍵（牛頓,2010）。在 Discovery 『救地球的五個方法』影片中，羅傑安卓教授（在太空中放置大型玻璃遮光罩反射陽光）、保羅克魯森教授（發射硫磺火箭）和約翰拉坦及與史蒂芬索特教授（加厚雲層、反射太陽光線）都是提出阻擋紅外線、減少熱能進入地球的建議。我們很好奇這樣的建議論點究竟對溫室效應有什麼影響，所以設計此項研究進行探討，討論研究結果，我們發現：

（一）在大氣層上方製造屏障對減少溫室效應具有幫助

在一定二氧化碳濃度之空間內（實驗組與對照組內都是 800ml CO₂），不管利用屏障物質製造防曬罩（圖 6-9），或是用鋁箔片製造屏障反射輻射熱（圖 6-10），都發揮遮蔽紅外線的功能，能有效降低模型內的溫室效應。

（二）屏障效果越好，越能有效減少溫室效應

1. 從實驗二的結果，比較屏障面積對溫室效應的影響（圖 6-10），發現只有 1 片鋁箔片，實驗組模型內照光時升溫的趨勢與對照組的情形相似，但是當光停止時，我們能發現只有 1 片鋁箔片的實驗組模型內降溫速度已比對照組稍微快。而當面積擴大，鋁箔 9 片與 25 片的實驗組模型內照光時升溫趨勢大幅度減慢、停止光照時也加快降溫，與對照組比較，其溫室效應明顯降低。因此我們確信：屏障面積越大，越能充分發揮遮蔽紅外線的功能，有效減少模型內的溫室效應。從我們設計的實驗來看，9 片鋁箔已足夠反射紅外線燈照地熱能，所以其實驗結果與 25 片鋁箔的結果相近。
2. 實驗一的結果（圖 6-10），雖能比較出「二氧化硫」對模型內溫室效應的影響情形比「線香」稍好，但是此實驗中，我們沒有針對屏障物質的濃度做精密的控制，因此無法確信比較這兩種物質的屏障紅外線特性之優劣，此部分可留待未來做更進一步之研究探討。

柒、結論

一部 Discovery 的『救地球的五個方法』影片，引發了我們這群熱愛科學的社團同學們的好奇以及想一探究究竟的研究精神；在老師指導下，透過不斷閱讀資料、測試實驗及討論，我們設計溫室模型和屏障式溫室模型，先從「大氣層的氣體」和「地球表面」觀點研究模型內的溫室效應情形；再參考影片中五個救地球方法的論點，設計「消耗二氧化碳」及「遮蔽紅外線」的研究，實驗兩項論點的退燒效果一對模型內溫室效應的影響。

經歷一段辛苦的研究，從研究發現中我們得到了以下三大點結論：

一、溫室模型裡的氣體種類及二氧化碳濃度都與溫室效應有關

(一) 氣體種類

我們收集了二氧化碳、氧、氮、瓦斯及乙烯，分別與空氣進行各組模型內的溫室效應情形；實驗結果只有「氮」的溫室效應情形比較差，升溫慢且降溫快。除了「二氧化碳」是溫室氣體，其他氣體雖然不是參考資料提及的溫室氣體，但受光照時不但升溫快，光照停止時，降溫得也很慢；與空氣相比，各氣體的溫室效應反而都增加。

(二) 二氧化碳濃度

比較研究中所有氣體的溫室效應情形，以二氧化碳的影響最大；根據參考資料，二氧化碳具有吸收紅外線的特性，因此大氣中的二氧化碳濃度會正向影響溫室效應。研究二結果發現在一定空間內，二氧化碳越多（濃度高），受光照時升溫越快，光照停止時降溫越慢，使得模型內溫室效應越益增加。而在研究七中，更進一步證實，應用「消耗大氣中二氧化碳量」能有效減少模型內的溫室效應，其中以研究設計的氫氧化鈉消耗二氧化碳的化學反應之影響效果最佳。

二、改變溫室模型裡的地面高度、地表材質及天氣狀態都能使溫室效應有不同的表現

(一) 地面高度

在溫室模型內，受到光照時，離地越高，因離熱源近，升溫幅度越大；停止光照時，地表會往上反射熱能，所以愈低處，降溫會愈快；但中間處（離地 5 公分）因受到下層大氣反射的熱能包圍，導致降溫緩慢，其降溫情形最差，溫室效應最明顯。

(二) 地表材質

地質差異會影響地表反射熱；短時間受光照時，因泥地較濕、石地較冷，升溫幅度小；當光照停止時，地表往上反射熱能開始降溫，其中以草地降溫最快，石地最慢。

(三) 天氣狀態

陰、雨天這類「濕度」狀態的天氣能趨緩溫室效應，受光照時升溫慢，停止光照後降溫快。而模型內在有風狀態下，「空氣對流」加速二氧化碳吸收紅外線，受光照時不但溫度上升快，停止光照時溫度也不易下降，使溫室效應更嚴重。

三、利用屏障方式遮蔽紅外線能有效減少模型內的溫室模型

在一定的二氧化碳濃度下，不管利用屏障物質製造防曬罩，或是用鋁箔片製造屏障反射輻射熱，都能遮蔽紅外線，有效降低模型內的溫室效應。此外，只要屏障面積夠大，就能充分遮蔽紅外線，大量阻擋進入模型內的熱能，有效減少模型內的溫室效應。

捌、參考資料

- 一、牛頓（2010）。徹底瞭解 CO₂ 及其與暖化的關係。量子科學雜誌，33，17-23。
- 二、溫室效應（2011）。維基百科。2011 年 2 月 24 日，取自：<http://zh.wikipedia.org/wiki>。
- 三、綠行動（2008）。「Discovery 頻道 綠地球:救地球的五個方法」。台北市：台灣環境資訊協會。2010 年 11 月 4 日，取自：<http://www.earthday.org.tw/node/104>。
- 四、環境保護署（1999）。「溫室氣體資料庫」。台北市：行政院。2011 年 3 月 7 日，取自：<http://webgis.sinica.edu.tw/epa/epa.html>。

【評語】 080207

1. 實驗裝置設計精緻。
2. CO₂ 的量失去控制，CO₂ 會分層，抽取 CO₂ 控制不易。