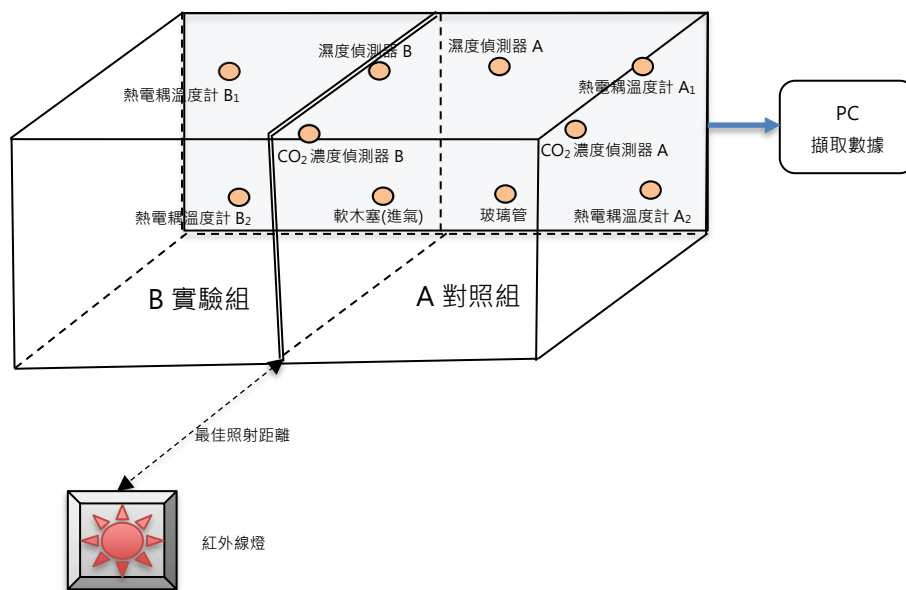


新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書



科 別：地球科學

組 別：國中組

作品名稱：地球傳「二」耗-探討溫室氣體對溫室效應的影響

關 鍵 詞：溫室氣體、紅外線、溫度

編 號：114JA-E001

作品名稱：地球傳「二」耗-探討溫室氣體對溫室效應的影響

摘要

陽光照射地球時，紅外線能穿過大氣層到達地表，地表吸收能量後會釋放紅外線，但部分紅外線被溫室氣體吸收，減少其向外散逸，從而使地球保持一定的溫暖。本研究設計環境模擬箱進行實驗，使用紅外線燈模擬太陽照射，先由空白實驗確定最佳參數(如燈距)，再調整不同濃度的二氧化碳與氧氣以及模擬不同環境的水氣多寡對溫度變化的影響，同時也模擬地表特性(植被、深色或黑色物質等)，探討光合作用及黑體輻射對溫度的影響。研究發現，在特定空間內，二氧化碳、水氣對溫室效應影響較劇烈；氧氣影響不大；黑色或深色物質吸收更多太陽輻射，導致局部暖化，加劇溫室效應；植物吸收二氧化碳並透過蒸散作用降溫，有助於減少溫室氣體濃度，減緩全球暖化。

壹、研究動機

溫室效應是近年來全球關注的環境議題。例如，冰島冰川正以每年數百公尺的速度消失，甚至出現數千年未曾有過的耕地；北極冰山急劇減少，威脅北極熊的生存；南極冰川或冰棚大規模崩裂，震撼世界。此外，全球各地因暖化導致氣候異常、海平面上升等問題，科學家甚至預測南北極冰層可能在 40 年內消失。

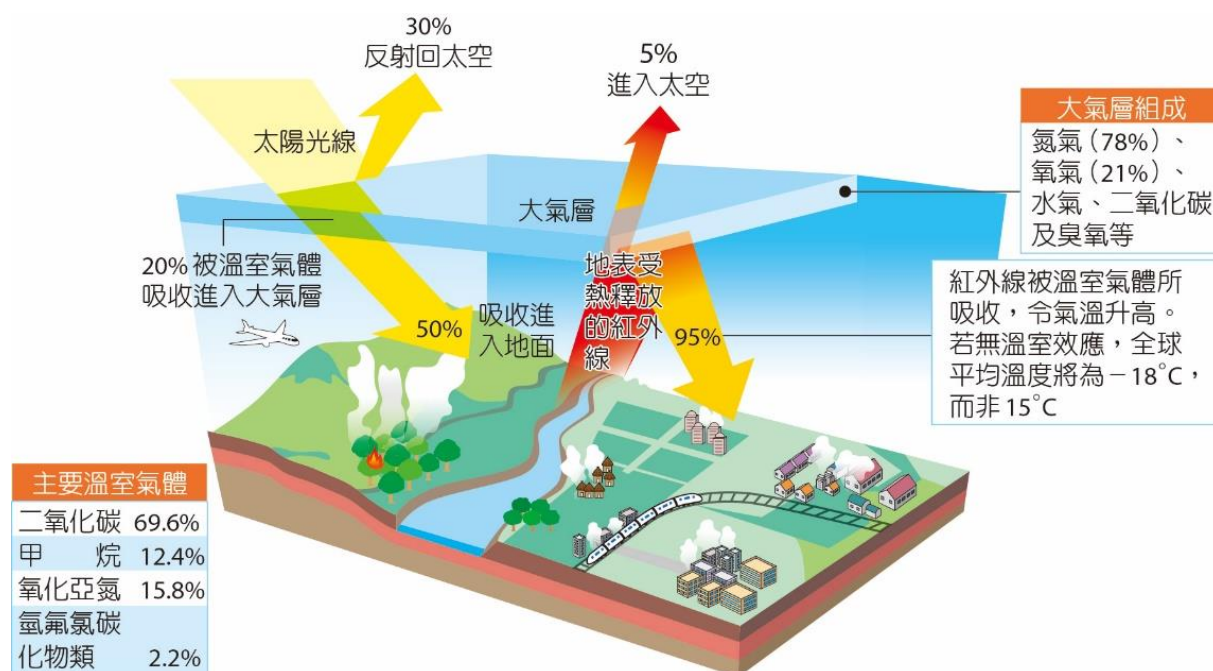
過去十、十一月本來應該是微寒，近年卻異常溫暖，甚至如夏日炎熱。媒體頻繁報導溫室效應、氣候異常、全球暖化等議題，而我們的自然科課程也涵蓋熱的傳遞、輻射與地球暖化。因而，我們在老師的指導下，深入探討大氣中的氣體（如 O_2 、 CO_2 、 H_2O 等）在紅外線照射下的溫度變化，進一步研究溫室氣體對溫室效應的影響，並以地球暖化成因作為科展主題。

貳、研究目的

- 一、探討在紅外線照射下，大氣中不同濃度的二氧化碳時，其溫度變化的差異。
- 二、探討在紅外線照射下，大氣中不同濃度的氧氣時，其溫度變化的差異。
- 三、探討在紅外線照射下，大氣中不同濕度的水氣時，其溫度變化的差異。
- 四、探討在紅外線照射下，地球上的植被與否對溫度變化的影響與差異。
- 五、探討在紅外線照射下，地球上的深色物質對溫度變化的影響與差異。

參、文獻回顧

- 一、**溫室效應**(Greenhouse effect)是指行星的大氣層因吸收紅外線輻射能量，使得表面升溫的效應。由於表面溫度會比沒有大氣層時的溫度要高，類似溫室，故名為「溫室效應」。
- 二、**太陽輻射**主要是因為**短波輻射**，然而**地面輻射**和**大氣輻射**則是**長波輻射**。大氣對長波輻射的吸收力較強，對短波輻射的吸收力較弱。當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，同時地球表面無論晝夜都以紅外線的方式向宇宙散發吸收的能量，其中也有部分被大氣吸收。
- 三、大氣層像覆蓋玻璃的溫室一樣，保存一定的熱量，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。由於溫室氣體的增加，使地球整體所保留的熱能增加，導致全球暖化。
- 四、目前人為因素使大氣中溫室氣體含量增加，由於燃燒化石燃料及水蒸氣、二氧化碳、甲烷等產生排放的氣體，經紅外線輻射吸收留住能量，導致全球表面溫度升高，加劇溫室效應，造成全球暖化。
- 五、溫室效應示意圖



圖一、溫室效應示意圖

地球會吸收太陽釋放的電磁波輻射如紫外線、可見光以及近紅外線。在大氣層上端可接收到的所有輻射能中，大氣和雲會反射 30% 的能量到太空中，而大氣和雲本身會吸收 20% 的能量。剩下的 50% 能量都是由地球表面吸收，因為地表的溫度比太陽要冷很多，

因此其釋放的遠紅外線波長也比太陽釋放的電磁波波長要長很多。大部份的熱輻射是由大氣吸收，因此大氣溫度會提高，大氣除了吸收太陽釋放的電磁波以及地球的熱輻射外，大氣也會由地面的顯熱和潛熱通量接收到能量。大氣會往上方及下方輻射能量，部份往下方輻射的能量是由地表吸收，因此地表溫度會較沒有大氣時的地表溫度要高。

六、溫室氣體包括大部份由二種不同原子組成的雙原子氣體（例如一氧化碳）以及所有由三個或多個原子組成的氣體，可以吸收及發射紅外線輻射。雖然乾燥大氣中有 99%（氧氣、氮氣及氫氣）都不會吸收及發射紅外線，不過分子間的碰撞使得溫室氣體吸收及發射的能量可以傳遞到其他非溫室氣體。

七、黑體輻射與溫室效應之間，兩者都涉及能量的吸收、轉換與釋放，並影響地球熱平衡。

(一) 所有物體都會根據其溫度發射輻射，這種輻射叫做黑體輻射。

根據斯特藩-玻爾茲曼定律(Stefan-Boltzmann Law)，黑體輻射的總輻射功率與物體溫度之間的關係。公式如下： $E = \sigma T^4$

其中：E 是物體每單位面積的輻射能量（瓦特/米， W/m^2 ）

σ 是斯特藩-玻爾茲曼常數

T 是物體的絕對溫度($^{\circ}K$)

根據這一定律，物體的總輻射能量(單位面積)與其溫度的四次方成正比。

物體的輻射強度(I)與其表面溫度(T)的四次方成正比 ($I \propto T^4$)。

地球表面吸收來自太陽的短波輻射，將其轉化為熱能，並以長波紅外線的形式向外輻射。

(二)根據維恩位移定律（Wien's Displacement Law），物體發出的輻射波長會隨著溫度升高而向短波長移動。維恩位移定律描述了黑體輻射的特性，具體表達了物體的輻射波長與其溫度之間的關係。根據該定律，黑體輻射的峰值波長（即輻射最強的波長）與物體的溫度成反比。公式為： $\lambda_{\max} = b/T$

其中： λ_{\max} 是黑體輻射的峰值波長

b 是維恩位移常數


T 是物體的絕對溫度($^{\circ}K$)

當物體的溫度越高時，其輻射的波長越短，反之亦然。例如，像太陽這樣的高溫物體，其輻射主要集中在可見光範圍，而較冷的物體(如地球)則主要輻射長波紅外線。地球的輻射波長主要集中在長波紅外線範圍（約 4~100 微米），這些波長正好被溫室氣體吸收和重新輻射。

肆、研究設備及器材

一、器材

表一、實驗器材

1. 德製 Beurer IL50 紅外線燈	2. 熱電偶溫度計	3. CO ₂ 濃度偵測器	4. 濕度偵測器	5. 黑絨布
				
6. 300ml 塑膠瓶	7. 吸濾瓶(500ml)	8. 橡膠管	9. 薊頭漏斗	10. 電子秤(600g, 0.01g)
				
11. 定量瓶(100ml)	12. 乳頭滴管	13. 燒杯	14. 量筒(100ml)	15. 軟木塞
				
16. 鋁箔紙	17. 尺	18. 培養皿	19. 刮勺	20. 洗滌瓶
				
21. 玻璃注射器	22. 二氧化碳鋼氣瓶	23. 橡膠安全吸球	24. 草皮	
				

二、藥品

1. 雙氧水	2. 二氧化錳	3. 碳酸鈣	4. 鹽酸	5. 澄清石灰水
				
6. 氫氧化鈉	7. 除濕劑			
				

伍、研究設計

一、實驗設計

(一) 實驗設計：環境模擬裝置

1. 環境模擬箱：尺寸為 60cm x 30cm x 30cm 的壓克力箱。(圖二、圖三)

壓克力箱蓋子上各打五個洞，分別以軟木塞鑽孔插入偵測儀器，以維持氣密性。

A 端與 B 端中間擺放「黑色壓克力板」將兩端隔離，防止氣體和光線流通。

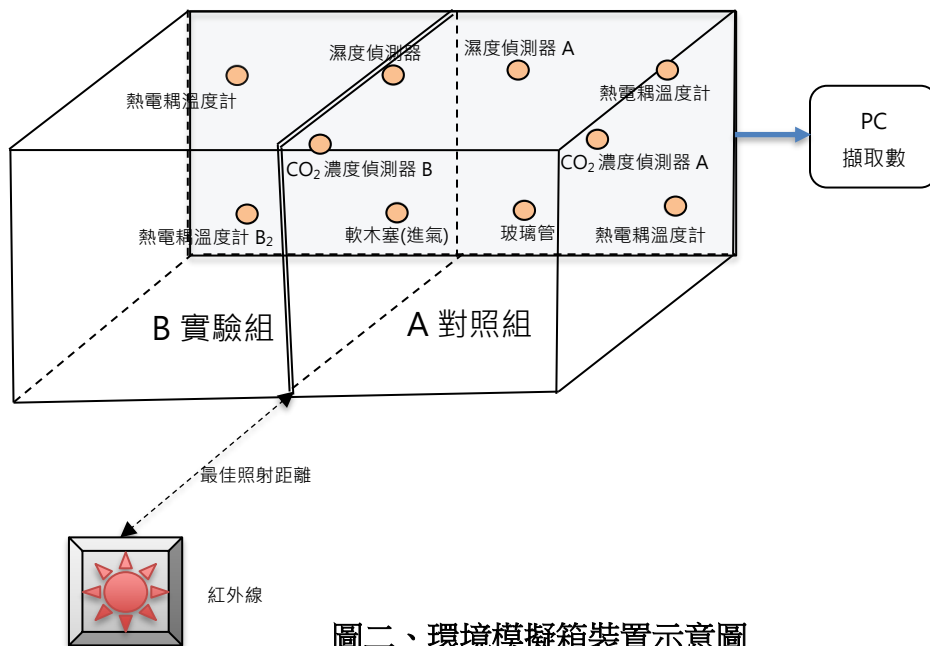
箱子外圍包上鋁箔紙，讓紅外線燈所照射的光線能夠更集中。

2. A 端(對照組)：模擬目前大氣層的空氣組成。

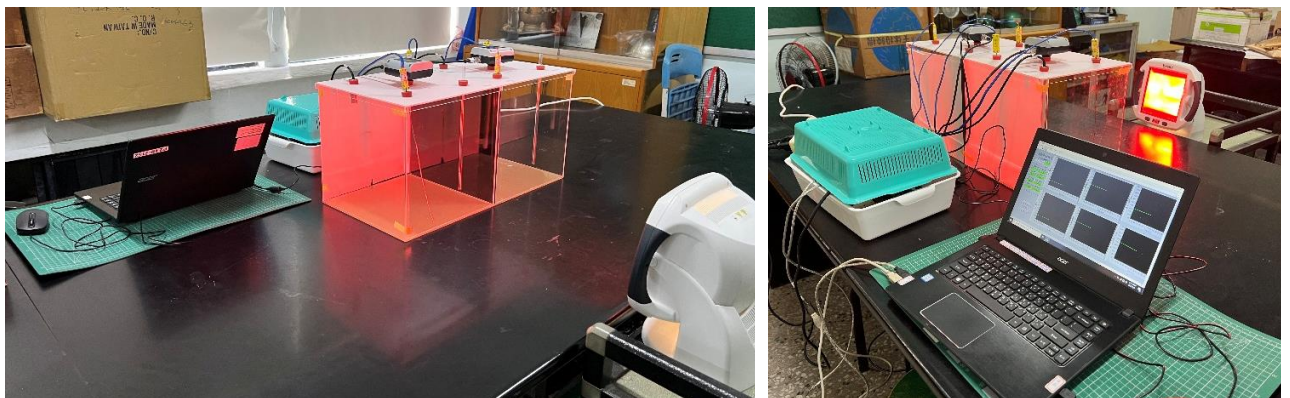
B 端(實驗組)：模擬不同濃度的溫室氣體、水氣、黑暗、植被等狀況。

3. 溫度測量：在 A 端與 B 端裝置上下兩支熱電耦溫度計，確保數據準確且可重現。

4. 數據監測與記錄：A 端與 B 端的熱電耦溫度計、二氧化碳濃度偵測器、濕度偵測器數據，每 30 秒電腦進行記錄與分析。



圖二、環境模擬箱裝置示意圖



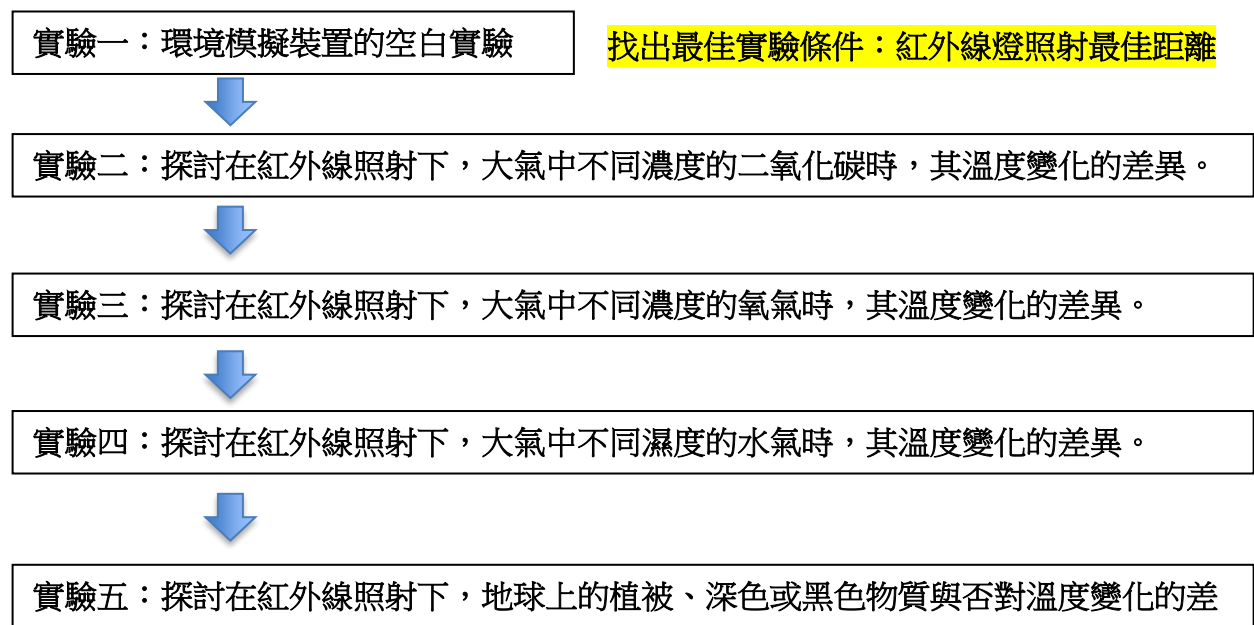
圖三 環境模擬箱實際裝置

(二)環境模擬箱設計理念

本研究探討溫室氣體與溫室效應的關係，為此設計環境模擬箱，具體說明如下：

- 1.環境模擬箱模擬地球大氣層的作用(類似溫室)。
- 2.以黑色壓克力板隔離 A 端(對照組)與 B 端(實驗組)，避免氣體與光線互相影響。
- 3.紅外線燈模擬太陽光源，提供輻射熱能。
- 4.熱電耦溫度計監測 A 端與 B 端的溫度變化，以確保數據準確性。
- 5.A 端(對照組)：透過軟木塞固定中空玻璃管，保持大氣氣體組成的穩定性。設置熱電耦溫度計、二氧化碳濃度偵測器、濕度偵測器，記錄環境數據。
B 端(實驗組)：定量輸入待測氣體，並以軟木塞封閉，維持系統穩定性。設置熱電耦溫度計、二氧化碳濃度偵測器、濕度偵測器，記錄反應數據。

二、研究流程



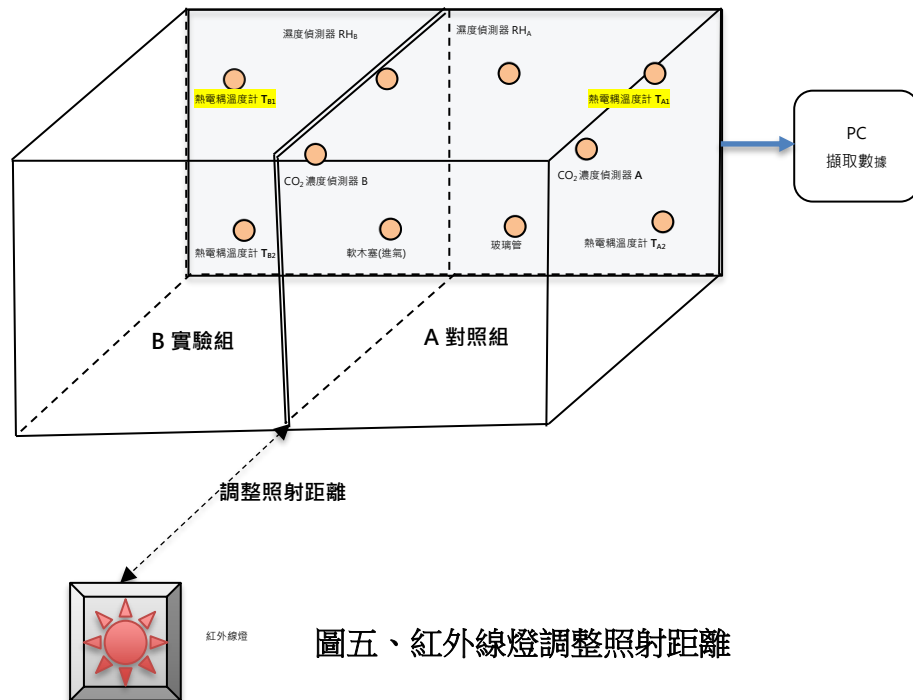
圖四、實驗研設計究流程圖

陸、研究過程及結果

實驗一：環境模擬裝置的空白實驗：找出紅外線燈最佳照射距離

一、實驗裝置圖

- 1.實驗箱尺寸為 $60 \times 30 \times 30$ cm，採用自製壓克力材質，中間設有可插入黑色壓克力板的空隙，以防止氣體與光線流通。箱體外部包覆鋁箔紙，以聚集光線。此外，蓋子上鑽有五個孔，用於插入偵測儀器。
- 2.將 A 設為對照組，B 設為實驗組。 T_A 為對照組的熱電偶溫度計放置位置，1 和 2 分別代表上方與下方，放置兩個以防其中一個失效，避免影響實驗結果。 T_B 為實驗組的熱電偶溫度計放置位置，1 和 2 亦分別對應上方與下方。
- 3.二氧化碳偵測器及濕度偵測器則分別放置於兩組實驗箱內，確保準確監測氣體濃度。電腦每 30 秒記錄擷取一次數據。如下圖：



圖五、紅外線燈調整照射距離

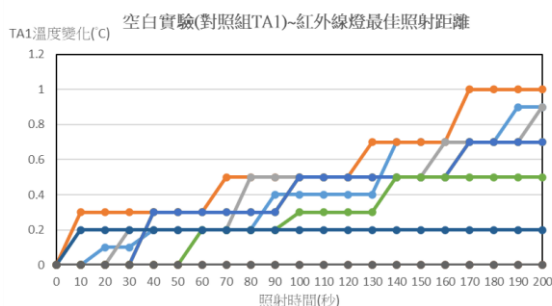
- 二、實驗步驟：將紅外線燈放在環境模擬箱前，用尺量取不同的距離(40cm、45cm、50cm、60cm、70cm、80cm、100cm、140cm、150cm)，進行空白實驗，每次升溫 5 分鐘，降溫 5 分鐘，藉由 A 端和 B 端數據相似且溫度變化最大，找出紅外線燈最佳照射距離。

三、實驗結果：

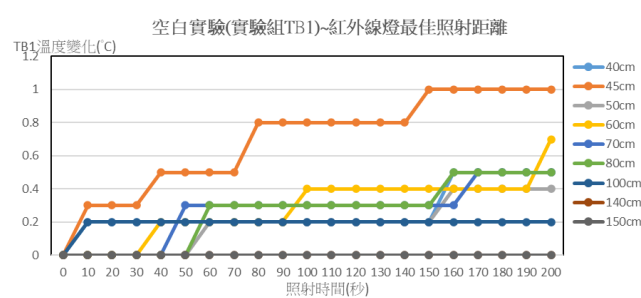
1.實驗數據： 表二、空白實驗(對照組 v.s.實驗組)~紅外線燈最佳照射距離

空白實驗(對照組 T _{Ai} 溫度變化)~紅外線燈最佳照射距離																		
時間 (sec)	T _{Ai} 40cm	ΔT _{Ai} 40cm	T _{Ai} 45cm	ΔT _{Ai} 45cm	T _{Ai} 50cm	ΔT _{Ai} 50cm	T _{Ai} 60cm	ΔT _{Ai} 60cm	T _{Ai} 70cm	ΔT _{Ai} 70cm	T _{Ai} 80cm	ΔT _{Ai} 80cm	T _{Ai} 100cm	ΔT _{Ai} 100cm	T _{Ai} 140cm	ΔT _{Ai} 140cm	T _{Ai} 150cm	ΔT _{Ai} 150cm
0	21.4	0	21.8	0	19.5	0	18	0	17.1	0	16.1	0	15.4	0	15.4	0	15.4	0
10	21.4	0	22.1	0.3	19.5	0	18	0	17.1	0	16.1	0	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
20	21.5	0.1	22.1	0.3	19.5	0	18	0	17.1	0	16.1	0	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
30	21.5	0.1	22.1	0.3	19.7	0.2	18	0	17.1	0	16.1	0	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
40	21.6	0.2	22.1	0.3	19.7	0.2	18.3	0.3	17.1	0.3	16.1	0	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
50	21.6	0.2	22.1	0.3	19.7	0.2	18.3	0.3	17.1	0.3	16.1	0	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
60	21.6	0.2	22.1	0.3	19.7	0.2	18.3	0.3	17.1	0.3	16.3	0.2	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
70	21.6	0.2	22.3	0.5	19.7	0.2	18.3	0.3	17.3	0.3	16.3	0.2	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
80	21.6	0.2	22.3	0.5	20	0.5	18.3	0.3	17.3	0.3	16.3	0.2	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
90	21.8	0.4	22.3	0.5	20	0.5	18.3	0.3	17.3	0.3	16.3	0.2	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
100	21.8	0.4	22.3	0.5	20	0.5	18.5	0.5	17.3	0.5	16.4	0.3	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
110	21.8	0.4	22.3	0.5	20	0.5	18.5	0.5	17.3	0.5	16.4	0.3	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
120	21.8	0.4	22.3	0.5	20	0.5	18.5	0.5	17.3	0.5	16.4	0.3	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
130	21.8	0.4	22.5	0.7	20	0.5	18.5	0.5	17.3	0.5	16.4	0.3	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
140	22.1	0.7	22.5	0.7	20	0.5	18.5	0.5	17.3	0.5	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
150	22.1	0.7	22.5	0.7	20	0.5	18.5	0.5	17.5	0.5	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
160	22.1	0.7	22.5	0.7	20.2	0.7	18.5	0.5	17.5	0.5	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
170	22.1	0.7	22.8	1	20.2	0.7	18.7	0.7	17.5	0.7	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
180	22.1	0.7	22.8	1	20.2	0.7	18.7	0.7	17.5	0.7	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
190	22.3	0.9	22.8	1	20.2	0.7	18.7	0.7	17.5	0.7	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0
200	22.3	0.9	22.8	1	20.4	0.9	18.7	0.7	17.5	0.7	16.6	0.5	15.6	0.2	15.4	0	15.4	0

空白實驗(實驗組 T _{Bi} 溫度變化)~紅外線燈最佳照射距離																		
時間 (sec)	T _{Bi} 40cm	ΔT _{Bi} 40cm	T _{Bi} 45cm	ΔT _{Bi} 45cm	T _{Bi} 50cm	ΔT _{Bi} 50cm	T _{Bi} 60cm	ΔT _{Bi} 60cm	T _{Bi} 70cm	ΔT _{Bi} 70cm	T _{Bi} 80cm	ΔT _{Bi} 80cm	T _{Bi} 100cm	ΔT _{Bi} 100cm	T _{Bi} 140cm	ΔT _{Bi} 140cm	T _{Bi} 150cm	ΔT _{Bi} 150cm
0	19.5	0	19.2	0	18.3	0	17.1	0	16.3	0	15.6	0	14.9	0	14.4	0	14.4	0
10	19.7	0.2	19.5	0.3	18.3	0	17.1	0	16.3	0	15.6	0	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
20	19.7	0.2	19.5	0.3	18.3	0	17.1	0	16.3	0	15.6	0	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
30	19.7	0.2	19.5	0.3	18.3	0	17.1	0	16.3	0	15.6	0	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
40	19.7	0.2	19.7	0.5	18.3	0	17.3	0.2	16.3	0	15.6	0	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
50	19.7	0.2	19.7	0.5	18.3	0	17.3	0.2	16.6	0.3	15.6	0	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
60	19.7	0.2	19.7	0.5	18.5	0.2	17.3	0.2	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
70	19.7	0.2	19.7	0.5	18.5	0.2	17.3	0.2	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
80	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.3	0.2	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
90	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.3	0.2	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
100	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.5	0.4	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
110	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.5	0.4	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
120	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.5	0.4	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
130	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.5	0.4	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
140	19.7	0.2	20	0.8	18.5	0.2	17.5	0.4	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
150	19.7	0.2	20.2	1	18.5	0.2	17.5	0.4	16.6	0.3	15.9	0.3	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
160	20	0.5	20.2	1	18.7	0.4	17.5	0.4	16.6	0.3	16.1	0.5	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
170	20	0.5	20.2	1	18.7	0.4	17.5	0.4	16.8	0.5	16.1	0.5	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
180	20	0.5	20.2	1	18.7	0.4	17.5	0.4	16.8	0.5	16.1	0.5	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
190	20	0.5	20.2	1	18.7	0.4	17.5	0.4	16.8	0.5	16.1	0.5	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0
200	20	0.5	20.2	1	18.7	0.4	17.8	0.7	16.8	0.5	16.1	0.5	15.1	0.2	14.4	0	14.4	0



圖六、空白實驗(對照組的溫度變化)



圖七、空白實驗(實驗組的溫度變化)

★**小結論**：由壓克力製作的**環境模擬箱**尺寸為 $60\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 。實驗過程中，我們測試了**環境模擬箱與紅外線燈的距離對加熱效果的影響**，並發現：

- 1.當距離**過遠**時，能量分散，照射效果不佳。
- 2.當距離**過近**時，熱能可能集中於特定區域，影響測試均勻性。
- 3.經多次測試，我們確定當**環境模擬箱與紅外線燈的距離為 45cm** 時，能量分布較為均勻，且達到最佳照射效果。

實驗二：探討在紅外線照射下，大氣中不同濃度的二氧化碳時，其溫度變化的差異。

一、實驗條件：

1.控制變因：

- (1)紅外線燈的照射：時間固定為 15 分鐘，照射距離為 45cm。
- (2)環境溫度：確保實驗開始時的環境溫度相同，避免外界影響。
- (3)二氧化碳的壓力：保持二氧化碳的壓力一致，以確保濃度變化僅來自體積調整。
- (4)測量設備：使用相同熱電耦溫度計測量環境模擬箱內的溫度變化，確保數據準確。

2.操縱變因：二氧化碳的濃度(透過改變二氧化碳的體積來調整)。

3.應變變因：環境模擬箱內的溫度變化(升溫與降溫的幅度與速率)。

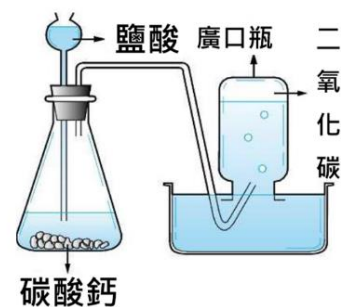
二、實驗步驟：

1.前置作業：

每次實驗前，須使用吹風機吹拂二氧化碳偵測器的探頭，清除殘留的二氧化碳，使偵測數值降至約 350 ppm，因大氣中的二氧化碳濃度通常介於 300 至 400 ppm 之間。

2.利用排水及氣法製備二氧化碳氣體(碳酸鈣+鹽酸)：

- (1)先將碳酸鈣放入吸濾瓶，加入一些水，吸濾瓶裝上插薊頭漏斗及橡皮管，把橡皮管插入水中。
- (2)在薊頭漏斗中，以滴管慢慢加入鹽酸，避免濺出，也避免反應過快。
- (3)利用排水集氣法，先把吸濾瓶內的空氣排出約 30 秒鐘後，才開始收集二氧化碳至 300cc 集器瓶裝好數罐，備用。



圖八、製備二氧化碳實驗裝置

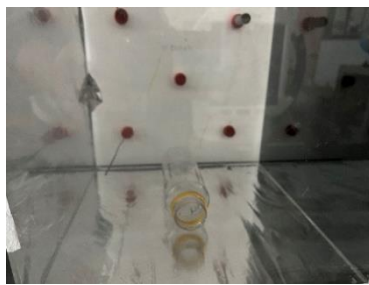
3.實驗過程：

- (1)將製備好的二氧化碳分別以 300cc 集氣瓶裝好，放入環境模擬箱內的實驗組(如圖九)，以調整二氧化碳的濃度(300cc、600cc、900cc)。
- (2)因二氧化碳(約 1.98 kg/m^3)的密度比空氣(約 1.29 kg/m^3)大約高出 1.5 倍，因此它較重，容易聚集在密閉空間的底部，所以注入二氧化碳後會慢慢往裝置底部下沉，間隔五分鐘，再以玻璃注射器從裝置上方抽出相對應的空氣體積。
- (3)等二氧化碳濃度穩定後，即可開啟紅外線燈進行升溫加熱 15 分鐘後，觀察環境模擬箱內的升溫變化；隨後關閉紅外線燈 10 分鐘，觀察其降溫變化。

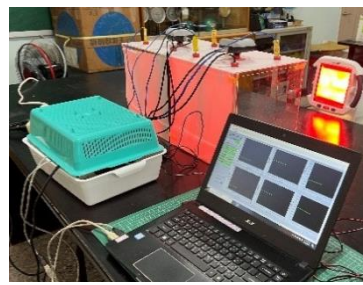
二、實驗裝置圖：



(1)集氣瓶收集二氧化碳氣體



(2)放入裝置的實驗組



(3)紅外線燈照射，模擬溫室

圖九、環境模擬裝置的實驗組放入不同濃度的二氧化碳進行實驗

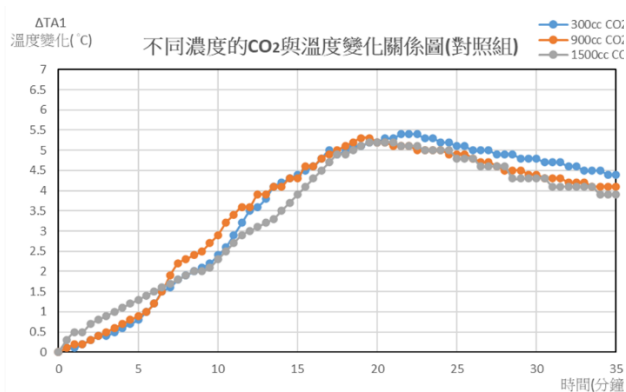
三、實驗數據：

表二、在紅外線照射下，不同濃度的 CO₂ 與溫度變化的差異

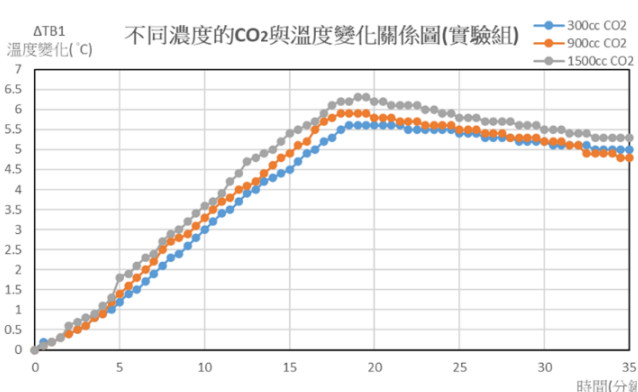
實驗二、對照組溫度變化							實驗組溫度變化					
時間 (min)	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}
	300cc CO ₂	300cc CO ₂	900cc CO ₂	900cc CO ₂	1500cc CO ₂	1500cc CO ₂	300cc CO ₂	300cc CO ₂	900cc CO ₂	900cc CO ₂	1500cc CO ₂	1500cc CO ₂
0	16.3	0	16.3	0	16.8	0	16.3	0	16.7	0	16.9	0
0.5	16.4	0.1	16.4	0.1	17.1	0.3	16.5	0.2	16.8	0.1	17	0.1
1	16.4	0.1	16.5	0.2	17.3	0.5	16.5	0.2	16.9	0.2	17.1	0.2
1.5	16.5	0.2	16.5	0.2	17.3	0.5	16.6	0.3	17	0.3	17.2	0.3
2	16.6	0.3	16.6	0.3	17.5	0.7	16.7	0.4	17.1	0.4	17.5	0.6
2.5	16.7	0.4	16.7	0.4	17.6	0.8	16.8	0.5	17.2	0.5	17.6	0.7
3	16.7	0.4	16.8	0.5	17.7	0.9	16.9	0.6	17.3	0.6	17.7	0.8
3.5	16.8	0.5	16.9	0.6	17.8	1	17.1	0.8	17.5	0.8	17.8	0.9
4	16.9	0.6	17	0.7	17.9	1.1	17.2	0.9	17.6	0.9	18	1.1
4.5	17	0.7	17.1	0.8	18	1.2	17.3	1	17.9	1.2	18.2	1.3
5	17.1	0.8	17.2	0.9	18.1	1.3	17.5	1.2	18.1	1.4	18.7	1.8
5.5	17.3	1	17.3	1	18.2	1.4	17.7	1.4	18.3	1.6	18.8	1.9
6	17.5	1.2	17.5	1.2	18.3	1.5	17.8	1.5	18.5	1.8	19	2.1
6.5	17.8	1.5	17.8	1.5	18.4	1.6	18	1.7	18.7	2	19.2	2.3
7	17.9	1.6	18.2	1.9	18.5	1.7	18.2	1.9	18.9	2.2	19.3	2.4
7.5	18.1	1.8	18.5	2.2	18.6	1.8	18.4	2.1	19.2	2.5	19.6	2.7
8	18.2	1.9	18.6	2.3	18.7	1.9	18.6	2.3	19.4	2.7	19.8	2.9
8.5	18.3	2	18.7	2.4	18.8	2	18.7	2.4	19.5	2.8	19.9	3
9	18.4	2.1	18.8	2.5	18.8	2	18.9	2.6	19.6	2.9	20.1	3.2
9.5	18.5	2.2	19	2.7	18.9	2.1	19.1	2.8	19.8	3.1	20.3	3.4
10	18.7	2.4	19.2	2.9	19.1	2.3	19.3	3	20	3.3	20.5	3.6
10.5	18.9	2.6	19.5	3.2	19.3	2.5	19.5	3.2	20.2	3.5	20.6	3.7
11	19.2	2.9	19.7	3.4	19.5	2.7	19.7	3.4	20.4	3.7	20.8	3.9
11.5	19.5	3.2	19.9	3.6	19.7	2.9	19.8	3.5	20.5	3.8	21.1	4.2
12	19.8	3.5	19.9	3.6	19.8	3	20	3.7	20.7	4	21.3	4.4
12.5	19.9	3.6	20.2	3.9	19.9	3.1	20.2	3.9	20.8	4.1	21.6	4.7
13	20.1	3.8	20.2	3.9	20	3.2	20.3	4	20.9	4.2	21.7	4.8
13.5	20.4	4.1	20.4	4.1	20.1	3.3	20.5	4.2	21.1	4.4	21.8	4.9
14	20.5	4.2	20.4	4.1	20.3	3.5	20.6	4.3	21.3	4.6	21.9	5
14.5	20.6	4.3	20.6	4.3	20.5	3.7	20.7	4.4	21.5	4.8	22.1	5.2
15	20.7	4.4	20.6	4.3	20.7	3.9	20.8	4.5	21.6	4.9	22.3	5.4
15.5	20.8	4.5	20.9	4.6	20.9	4.1	21	4.7	21.8	5.1	22.4	5.5
16	20.9	4.6	20.9	4.6	21.1	4.3	21.2	4.9	21.9	5.2	22.5	5.6
16.5	21.1	4.8	21.1	4.8	21.3	4.5	21.3	5	22.2	5.5	22.6	5.7
17	21.3	5	21.2	4.9	21.5	4.7	21.5	5.2	22.4	5.7	22.8	5.9
17.5	21.2	4.9	21.3	5	21.7	4.9	21.6	5.3	22.5	5.8	23	6.1
18	21.3	5	21.4	5.1	21.7	4.9	21.8	5.5	22.6	5.9	23.1	6.2
18.5	21.4	5.1	21.5	5.2	21.8	5	21.9	5.6	22.6	5.9	23.1	6.2
19	21.4	5.1	21.6	5.3	21.9	5.1	21.9	5.6	22.6	5.9	23.2	6.3
19.5	21.5	5.2	21.6	5.3	22	5.2	21.9	5.6	22.6	5.9	23.2	6.3
20	21.5	5.2	21.5	5.2	22	5.2	21.9	5.6	22.5	5.8	23.1	6.2
20.5	21.6	5.3	21.5	5.2	22	5.2	21.9	5.6	22.5	5.8	23.1	6.2
21	21.6	5.3	21.4	5.1	22	5.2	21.9	5.6	22.5	5.8	23	6.1
21.5	21.7	5.4	21.4	5.1	21.9	5.1	21.9	5.6	22.4	5.7	23	6.1
22	21.7	5.4	21.4	5.1	21.9	5.1	21.8	5.5	22.4	5.7	23	6.1
22.5	21.7	5.4	21.3	5	21.9	5.1	21.8	5.5	22.4	5.7	23	6.1

23	21.6	5.3	21.3	5	21.8	5	21.8	5.5	22.3	5.6	22.9	6
23.5	21.6	5.3	21.3	5	21.8	5	21.8	5.5	22.3	5.6	22.9	6
24	21.5	5.2	21.3	5	21.8	5	21.8	5.5	22.3	5.6	22.8	5.9
24.5	21.5	5.2	21.2	4.9	21.8	5	21.8	5.5	22.3	5.6	22.8	5.9
25	21.4	5.1	21.2	4.9	21.6	4.8	21.7	5.4	22.2	5.5	22.7	5.8
25.5	21.4	5.1	21.2	4.9	21.6	4.8	21.7	5.4	22.2	5.5	22.7	5.8
26	21.3	5	21.1	4.8	21.6	4.8	21.7	5.4	22.2	5.5	22.7	5.8
26.5	21.3	5	21	4.7	21.4	4.6	21.6	5.3	22.1	5.4	22.6	5.7
27	21.3	5	21	4.7	21.4	4.6	21.6	5.3	22.1	5.4	22.6	5.7
27.5	21.2	4.9	20.9	4.6	21.4	4.6	21.6	5.3	22.1	5.4	22.6	5.7
28	21.2	4.9	20.8	4.5	21.4	4.6	21.6	5.3	22	5.3	22.6	5.7
28.5	21.2	4.9	20.8	4.5	21.1	4.3	21.5	5.2	22	5.3	22.5	5.6
29	21.1	4.8	20.8	4.5	21.1	4.3	21.5	5.2	22	5.3	22.5	5.6
29.5	21.1	4.8	20.7	4.4	21.1	4.3	21.5	5.2	22	5.3	22.5	5.6
30	21.1	4.8	20.7	4.4	21.1	4.3	21.5	5.2	21.9	5.2	22.4	5.5
30.5	21	4.7	20.6	4.3	21.1	4.3	21.4	5.1	21.9	5.2	22.4	5.5
31	21	4.7	20.6	4.3	20.9	4.1	21.4	5.1	21.9	5.2	22.4	5.5
31.5	21	4.7	20.6	4.3	20.9	4.1	21.4	5.1	21.8	5.1	22.3	5.4
32	20.9	4.6	20.5	4.2	20.9	4.1	21.4	5.1	21.8	5.1	22.3	5.4
32.5	20.9	4.6	20.5	4.2	20.9	4.1	21.4	5.1	21.6	4.9	22.3	5.4
33	20.8	4.5	20.5	4.2	20.9	4.1	21.3	5	21.6	4.9	22.2	5.3
33.5	20.8	4.5	20.4	4.1	20.9	4.1	21.3	5	21.6	4.9	22.2	5.3
34	20.8	4.5	20.4	4.1	20.7	3.9	21.3	5	21.6	4.9	22.2	5.3
34.5	20.7	4.4	20.4	4.1	20.7	3.9	21.3	5	21.5	4.8	22.2	5.3
35	20.7	4.4	20.4	4.1	20.7	3.9	21.3	5	21.5	4.8	22.2	5.3

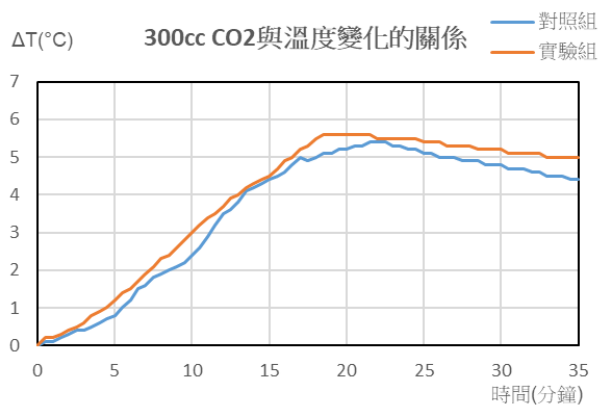
2.在環境模擬箱中，透過改變二氧化碳氣體積(300cc、900cc、1500cc)來調整實驗組的氣體組成，以紅外線燈照射，對溫度變化進行觀測，其中 T_{A1} 為對照組(大氣組成)， T_{B1} 為實驗組(改變二氧化碳氣濃度)。



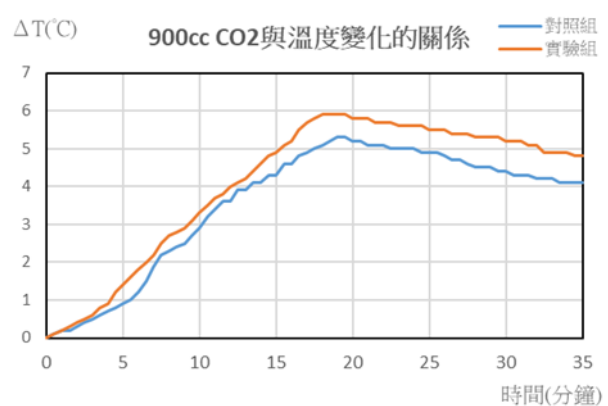
圖十、不同濃度的 CO_2 與溫度變化的關係
(對照組)



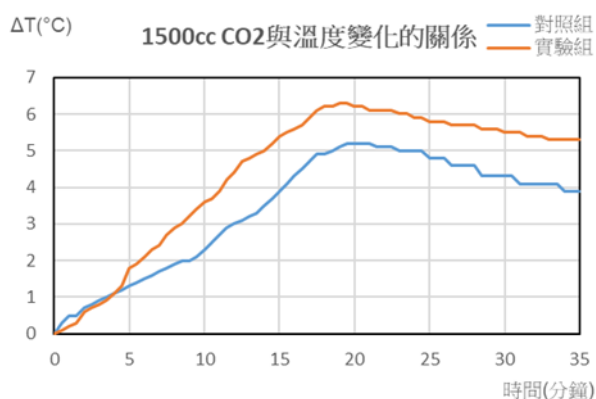
圖十一、不同濃度的 CO_2 與溫度變化的關係
(實驗組)



圖十二、300cc CO₂ 與溫度變化的關係



圖十三、900cc CO₂ 與溫度變化的關係



圖十四、1500cc CO₂ 與溫度變化的關係

★小結論：

由實驗發現，二氧化碳對升溫的影響隨濃度增加而逐漸減弱。當二氧化碳濃度較低時，增加少量二氧化碳會顯著增強溫室效應，但當濃度已經較高時，進一步增加二氧化碳對升溫的影響逐漸減小。

實驗三：探討在紅外線照射下，大氣中不同濃度的氧氣時，其溫度變化的差異。

一、實驗條件：

1.控制變因：

- (1)紅外線燈的照射：時間固定為 15 分鐘，照射距離為 45cm。
- (2)環境溫度：確保實驗開始時的環境溫度相同，避免外界影響。
- (3)氧氣的壓力：保持氧氣的壓力一致，以確保濃度變化僅來自體積調整。
- (4)測量設備：使用相同熱電耦溫度計測量環境模擬箱內的溫度變化，確保數據準確。

2.操縱變因：氧氣的濃度(透過改變氧氣的體積來調整)。

3.應變變因：環境模擬箱內的溫度變化(升溫與降溫的幅度與速率)。

二、實驗步驟：

1.前置作業：

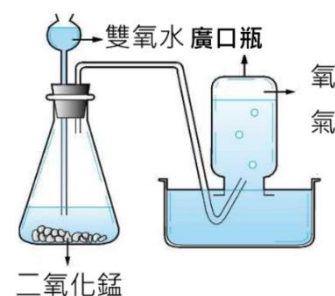
每次實驗前，須使用吹風機吹拂二氧化碳偵測器的探頭，清除殘留的二氧化碳，使偵測數值降至約 350 ppm，因大氣中的二氧化碳濃度通常介於 300 至 400 ppm 之間。

2.利用排水及氣法製備氧氣(雙氧水+二氧化錳)：

(1)先將二氧化錳放入吸濾瓶，加入一些水，吸濾瓶裝上插薊頭漏斗及橡皮管，把橡皮管插入水中。

(2)在薊頭漏斗中，以滴管慢慢加入雙氧水，避免濺出，也避免反應過快。

(3)利用排水集氣法，先把吸濾瓶內的空氣排出約 30 秒鐘後，才開始收集氧氣至 300cc 集器瓶裝好數罐備用。



圖十五、製備氧氣實驗裝置

3.實驗過程：

(1)將製備好的氧氣分別以 300cc 集氣瓶裝好，放入環境模擬箱內的實驗組，以調整氧氣的濃度(300cc、600cc、900cc)。

(2)因氧氣(約 1.43 kg/m^3)的密度比空氣(約 1.29 kg/m^3)稍大(約 1.11 倍)，因氧氣能夠與空氣充分混合，不像二氧化碳容易沉積在低處，間隔五分鐘，再以玻璃注射器從裝置上方抽出相對應的空氣體積。

(3)等氧氣濃度穩定後，接著開啟紅外線燈進行升溫加熱 15 分鐘後，觀察環境模擬箱內的升溫變化；隨後關閉紅外線燈 10 分鐘，觀察其降溫變化。

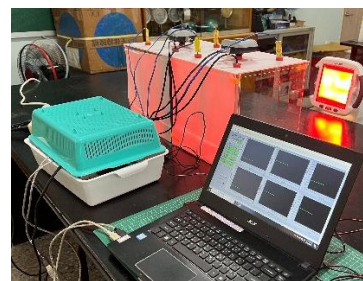
三、實驗裝置圖：



(1)集氣瓶收集氧氣



(2)放入裝置的實驗組



(3)紅外線燈照射，模擬溫室

圖十六、環境模擬裝置的實驗組放入不同濃度的氧氣進行實驗

四、實驗結果：

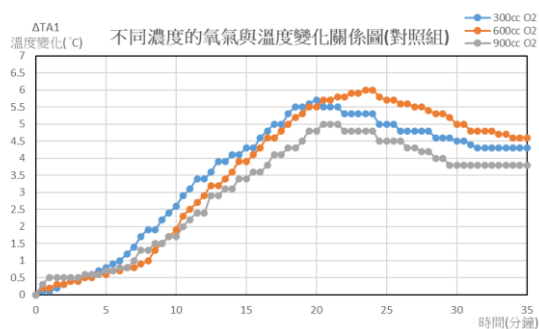
1.實驗數據：

表三、在紅外線照射下，不同濃度的 O_2 與溫度變化的差異

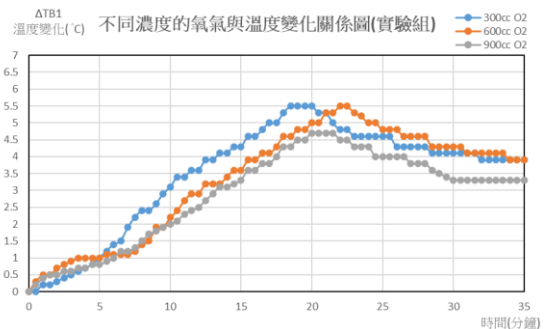
時間 (min)	實驗三、對照組溫度變化						實驗組溫度變化					
	T_{A1}	ΔT_{A1}	T_{A1}	ΔT_{A1}	T_{A1}	ΔT_{A1}	T_{B1}	ΔT_{B1}	T_{B1}	ΔT_{B1}	T_{B1}	ΔT_{B1}
	300cc O_2	300cc O_2	900cc O_2	900cc O_2	1500cc O_2	1500cc O_2	300cc O_2	300cc O_2	900cc O_2	900cc O_2	1500cc O_2	1500cc O_2
0	16.1	0	16.8	0	18.7	0	16.1	0	16.8	0	18.5	0
0.5	16.2	0.1	17	0.2	19	0.3	16.1	0	17.1	0.3	18.7	0.2
1	16.2	0.1	17	0.2	19.2	0.5	16.3	0.2	17.3	0.5	18.9	0.4
1.5	16.3	0.2	17.1	0.3	19.2	0.5	16.3	0.2	17.3	0.5	19	0.5
2	16.4	0.3	17.1	0.3	19.2	0.5	16.4	0.3	17.5	0.7	19	0.5

2.5	16.5	0.4	17.2	0.4	19.2	0.5	16.5	0.4	17.6	0.8	19.1	0.6
3	16.5	0.4	17.2	0.4	19.2	0.5	16.6	0.5	17.7	0.9	19.1	0.6
3.5	16.6	0.5	17.3	0.5	19.3	0.6	16.7	0.6	17.8	1	19.2	0.7
4	16.7	0.6	17.3	0.5	19.3	0.6	16.8	0.7	17.8	1	19.2	0.7
4.5	16.8	0.7	17.4	0.6	19.3	0.6	16.9	0.8	17.8	1	19.3	0.8
5	16.9	0.8	17.4	0.6	19.4	0.7	17.1	1	17.8	1	19.3	0.8
5.5	17	0.9	17.5	0.7	19.4	0.7	17.3	1.2	17.9	1.1	19.4	0.9
6	17.1	1	17.5	0.7	19.5	0.8	17.5	1.4	17.9	1.1	19.5	1
6.5	17.3	1.2	17.6	0.8	19.5	0.8	17.6	1.5	17.9	1.1	19.7	1.2
7	17.5	1.4	17.6	0.8	19.7	1	18	1.9	17.9	1.1	19.7	1.2
7.5	17.8	1.7	17.7	0.9	20	1.3	18.3	2.2	18	1.2	19.8	1.3
8	18	1.9	17.8	1	20	1.3	18.5	2.4	18.2	1.4	20	1.5
8.5	18	1.9	18.1	1.3	20.2	1.5	18.5	2.4	18.3	1.5	20.2	1.7
9	18.3	2.2	18.3	1.5	20.2	1.5	18.7	2.6	18.7	1.9	20.3	1.8
9.5	18.5	2.4	18.5	1.7	20.4	1.7	19	2.9	18.7	1.9	20.4	1.9
10	18.7	2.6	18.7	1.9	20.4	1.7	19.2	3.1	19	2.2	20.5	2
10.5	19	2.9	19.1	2.3	20.7	2	19.5	3.4	19.2	2.4	20.6	2.1
11	19.2	3.1	19.3	2.5	20.9	2.2	19.5	3.4	19.5	2.7	20.8	2.3
11.5	19.5	3.4	19.5	2.7	21.1	2.4	19.7	3.6	19.7	2.9	20.9	2.4
12	19.5	3.4	19.7	2.9	21.1	2.4	19.7	3.6	19.7	2.9	21	2.5
12.5	19.7	3.6	20	3.2	21.6	2.9	20	3.9	20	3.2	21.2	2.7
13	20	3.9	20	3.2	21.6	2.9	20	3.9	20	3.2	21.4	2.9
13.5	20	3.9	20.2	3.4	21.8	3.1	20.2	4.1	20	3.2	21.6	3.1
14	20.2	4.1	20.4	3.6	21.8	3.1	20.2	4.1	20.2	3.4	21.6	3.1
14.5	20.2	4.1	20.7	3.9	22.1	3.4	20.4	4.3	20.4	3.6	21.7	3.2
15	20.4	4.3	20.7	3.9	22.1	3.4	20.4	4.3	20.4	3.6	21.8	3.3
15.5	20.4	4.3	20.9	4.1	22.3	3.6	20.7	4.6	20.7	3.9	22.1	3.6
16	20.7	4.6	21.1	4.3	22.3	3.6	20.7	4.6	20.7	3.9	22.1	3.6
16.5	20.9	4.8	21.4	4.6	22.5	3.8	20.9	4.8	20.9	4.1	22.3	3.8
17	21.1	5	21.4	4.6	22.8	4.1	21.1	5	20.9	4.1	22.3	3.8
17.5	21.1	5	21.6	4.8	22.8	4.1	21.1	5	21.1	4.3	22.5	4
18	21.4	5.3	21.8	5	23	4.3	21.4	5.3	21.4	4.6	22.8	4.3
18.5	21.6	5.5	22	5.2	23	4.3	21.6	5.5	21.4	4.6	22.8	4.3
19	21.6	5.5	22.1	5.3	23.2	4.5	21.6	5.5	21.6	4.8	23	4.5
19.5	21.7	5.6	22.3	5.5	23.5	4.8	21.6	5.5	21.6	4.8	23	4.5
20	21.8	5.7	22.3	5.5	23.5	4.8	21.6	5.5	21.8	5	23.2	4.7
20.5	21.6	5.5	22.5	5.7	23.7	5	21.4	5.3	21.8	5	23.2	4.7
21	21.6	5.5	22.5	5.7	23.7	5	21.4	5.3	22.1	5.3	23.2	4.7
21.5	21.6	5.5	22.6	5.8	23.7	5	21.1	5	22.1	5.3	23.2	4.7
22	21.4	5.3	22.6	5.8	23.5	4.8	20.9	4.8	22.3	5.5	23	4.5
22.5	21.4	5.3	22.7	5.9	23.5	4.8	20.9	4.8	22.3	5.5	23	4.5
23	21.4	5.3	22.7	5.9	23.5	4.8	20.7	4.6	22.1	5.3	22.8	4.3
23.5	21.4	5.3	22.8	6	23.5	4.8	20.7	4.6	22	5.2	22.8	4.3
24	21.4	5.3	22.8	6	23.5	4.8	20.7	4.6	21.8	5	22.8	4.3
24.5	21.1	5	22.6	5.8	23.2	4.5	20.7	4.6	21.8	5	22.5	4
25	21.1	5	22.5	5.7	23.2	4.5	20.7	4.6	21.6	4.8	22.5	4
25.5	21.1	5	22.5	5.7	23.2	4.5	20.7	4.6	21.6	4.8	22.5	4
26	20.9	4.8	22.4	5.6	23.2	4.5	20.4	4.3	21.6	4.8	22.5	4
26.5	20.9	4.8	22.4	5.6	23	4.3	20.4	4.3	21.4	4.6	22.5	4
27	20.9	4.8	22.3	5.5	23	4.3	20.4	4.3	21.4	4.6	22.3	3.8
27.5	20.9	4.8	22.3	5.5	22.9	4.2	20.4	4.3	21.4	4.6	22.3	3.8
28	20.9	4.8	22.2	5.4	22.9	4.2	20.4	4.3	21.4	4.6	22.3	3.8
28.5	20.7	4.6	22.1	5.3	22.7	4	20.2	4.1	21.1	4.3	22.1	3.6

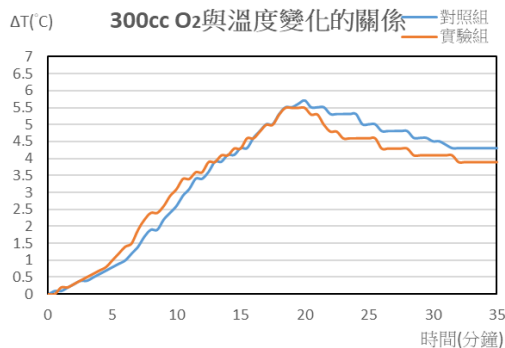
29	20.7	4.6	22.1	5.3	22.7	4	20.2	4.1	21.1	4.3	22	3.5
29.5	20.7	4.6	22	5.2	22.5	3.8	20.2	4.1	21.1	4.3	21.9	3.4
30	20.6	4.5	21.8	5	22.5	3.8	20.2	4.1	21.1	4.3	21.8	3.3
30.5	20.6	4.5	21.8	5	22.5	3.8	20.2	4.1	21.1	4.3	21.8	3.3
31	20.5	4.4	21.6	4.8	22.5	3.8	20.2	4.1	20.9	4.1	21.8	3.3
31.5	20.4	4.3	21.6	4.8	22.5	3.8	20.2	4.1	20.9	4.1	21.8	3.3
32	20.4	4.3	21.6	4.8	22.5	3.8	20	3.9	20.9	4.1	21.8	3.3
32.5	20.4	4.3	21.6	4.8	22.5	3.8	20	3.9	20.9	4.1	21.8	3.3
33	20.4	4.3	21.5	4.7	22.5	3.8	20	3.9	20.9	4.1	21.8	3.3
33.5	20.4	4.3	21.5	4.7	22.5	3.8	20	3.9	20.9	4.1	21.8	3.3
34	20.4	4.3	21.4	4.6	22.5	3.8	20	3.9	20.7	3.9	21.8	3.3
34.5	20.4	4.3	21.4	4.6	22.5	3.8	20	3.9	20.7	3.9	21.8	3.3
35	20.4	4.3	21.4	4.6	22.5	3.8	20	3.9	20.7	3.9	21.8	3.3



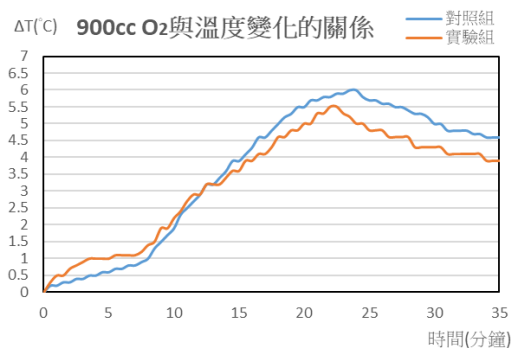
圖十七、不同濃度的 O₂ 與溫度變化的關係(對照組)



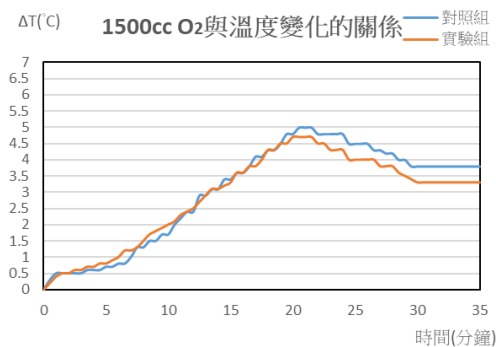
圖十八、不同濃度的 O₂ 與溫度變化的關係(實驗組)



圖十九、300cc O₂ 與溫度變化的關係



圖二十、900cc O₂ 與溫度變化的關係



圖二十一、1500cc O₂ 與溫度變化的關係

★小結論：

從實驗發現，實驗組經調整不同氧氣濃度的氣體組成，不管是照射後升溫變化，或者降溫過程的溫度變化，其效果都沒有比原本的大氣組成好。因此，氧氣濃度對溫度變化影響不大。

實驗四：探討在紅外線照射下，大氣中不同濕度的水氣時，其溫度變化的差異。

一、實驗條件：

1.控制變因：

- (1)紅外線燈的照射：時間固定為 15 分鐘，照射距離為 45cm。
- (2)環境溫度：確保實驗開始時的環境溫度相同，避免外界影響。
- (3)測量設備：使用相同熱電耦溫度計測量溫度變化，濕度偵測器測量濕度變化。

2.操縱變因：分別將 20g、60g、100g 的氫氧化鈉放在培養皿內，放入環境模擬箱的實驗組，改變水氣(透過氫氧化鈉吸收水氣)。

3.應變變因：環境模擬箱內的溫度變化(升溫與降溫的幅度與速率)。

二、實驗步驟：

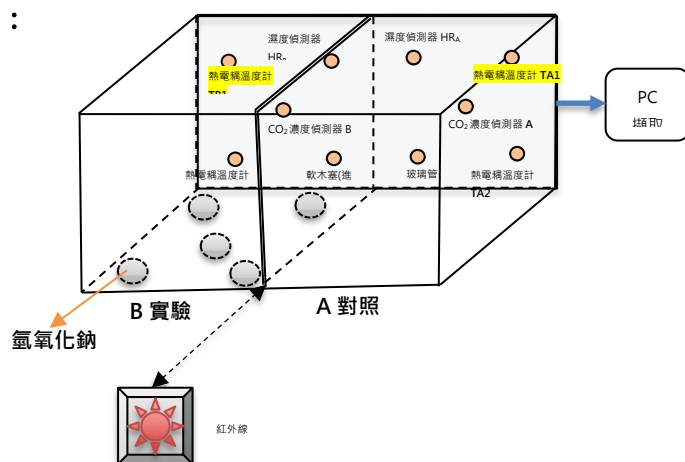
1.前置作業：

以電子秤量取 20g、60g、100g 的氫氧化鈉放在培養皿內(每盤約 20g)，放入環境模擬箱的實驗組約 30 分鐘，改變水氣(透過氫氧化鈉吸收水氣)，以濕度偵測器量取濕度。(因氫氧化鈉很容易吸收水氣而潮解，故使用前再以電子秤量取氫氧化鈉即可。)

2.實驗過程：

- (1)分別將 20g、60g、100g 的氫氧化鈉放在培養皿內(每盤約放 20g)，放入環境模擬箱內的實驗組，透過氫氧化鈉吸收水氣，以調整環境模擬箱內的水氣量。
- (2)因氫氧化鈉很容易吸收空氣中的水氣而潮解，利用此一特性來改變環境模擬箱內的水氣量，等待時間約 30 分鐘，量取當時的濕度偵測器讀值。
- (3)等水氣濃度穩定後，接著開啟紅外線燈進行升溫加熱 15 分鐘後，觀察環境模擬箱內的升溫變化；隨後關閉紅外線燈 10 分鐘，觀察其降溫變化。

三、實驗裝置圖：



圖二十二、環境模擬裝置的實驗組放入氫氧化鈉進行水氣實驗

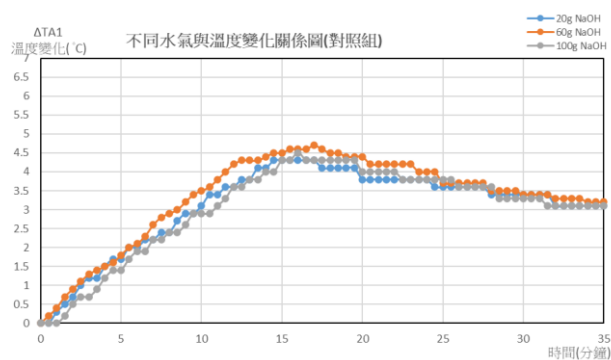
四、實驗結果：

1.實驗數據： 表四、在紅外線照射下，不同水氣與溫度變化的差異

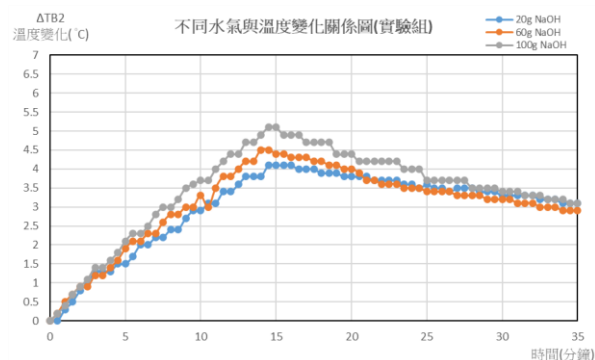
實驗三、對照組溫度變化										實驗組溫度變化								
時間 (min)	RH%	T _{A1}	ΔT _{A1}	RH%	T _{A1}	ΔT _{A1}	RH%	T _{A1}	ΔT _{A1}	RH%	T _{B1}	ΔT _{B1}	RH%	T _{B1}	ΔT _{B1}	RH%	T _{B1}	ΔT _{B1}
	20g NaOH	20g NaOH	20g NaOH	60g NaOH	60g NaOH	60g NaOH	100g NaOH	100g NaOH	100g NaOH		20g NaOH	20g NaOH	20g NaOH	60g NaOH	60g NaOH	60g NaOH	100g NaOH	100g NaOH
0	61.1	18	0	53.7	20	0	59.9	17.8	0	51.6	18.7	0	48.9	20.2	0	47.2	20	0
0.5	61.1	18	0	53.6	20.2	0.2	59.9	17.8	0	51.6	18.7	0	48.8	20.4	0.2	47.2	20.2	0.2
1	61.1	18.3	0.3	53.5	20.4	0.4	58.9	17.8	0	51.8	19	0.3	48.5	20.7	0.5	46.4	20.4	0.4
1.5	61	18.5	0.5	53.3	20.7	0.7	57.6	18	0.2	51.8	19.2	0.5	48.3	20.9	0.7	47.1	20.7	0.7
2	60.7	18.7	0.7	53.3	20.9	0.9	58.5	18.3	0.5	52.1	19.5	0.8	48.1	21.1	0.9	47.7	20.9	0.9
2.5	60.3	19	1	53.2	21.1	1.1	58.2	18.5	0.7	52.2	19.7	1	47.8	21.1	0.9	47.1	21.1	1.1
3	60.1	19.2	1.2	53.2	21.3	1.3	57.8	18.5	0.7	52.3	20	1.3	47.7	21.4	1.2	47	21.4	1.4
3.5	60	19.2	1.2	53	21.4	1.4	57.4	18.7	0.9	52.3	20	1.3	47.5	21.4	1.2	46.5	21.4	1.4
4	59.8	19.5	1.5	52.9	21.5	1.5	57.4	19	1.2	52.4	20	1.3	47.3	21.6	1.4	46.2	21.6	1.6
4.5	59.7	19.7	1.7	52.8	21.6	1.6	57.2	19.2	1.4	52.6	20.2	1.5	47.2	21.8	1.6	45.9	21.8	1.8
5	59.6	19.7	1.7	52.7	21.8	1.8	56.9	19.2	1.4	52.7	20.2	1.5	47.1	22.1	1.9	45.7	22.1	2.1
5.5	59.4	20	2	52.6	22	2	56.6	19.5	1.7	52.8	20.4	1.7	46.9	22.3	2.1	45.5	22.3	2.3
6	59.3	20	2	52.5	22.1	2.1	56.3	19.7	1.9	52.9	20.7	2	46.8	22.3	2.1	45.3	22.3	2.3
6.5	59.3	20.2	2.2	52.4	22.3	2.3	56	19.7	1.9	53	20.7	2	46.7	22.5	2.3	45.2	22.5	2.5
7	59.1	20.2	2.2	52.3	22.6	2.6	55.8	20	2.2	53.1	20.9	2.2	46.6	22.5	2.3	45	22.8	2.8
7.5	59	20.4	2.4	52.2	22.8	2.8	55.6	20	2.2	53.2	20.9	2.2	46.5	22.8	2.6	44.8	23	3
8	58.8	20.4	2.4	52.2	22.9	2.9	55.4	20.2	2.4	53.3	21.1	2.4	46.4	23	2.8	44.7	23	3
8.5	58.6	20.7	2.7	52.1	23	3	55.2	20.2	2.4	53.4	21.1	2.4	46.3	23	2.8	44.6	23.2	3.2
9	58.5	20.9	2.9	51.9	23.2	3.2	55.1	20.4	2.6	53.5	21.4	2.7	46.2	23.2	3	44.5	23.5	3.5
9.5	58.4	20.9	2.9	51.8	23.4	3.4	54.9	20.7	2.9	53.5	21.6	2.9	46.1	23.2	3	44.4	23.6	3.6
10	58.2	21.1	3.1	51.7	23.5	3.5	54.8	20.7	2.9	53.6	21.6	2.9	46.1	23.5	3.3	44.3	23.7	3.7
10.5	58.1	21.4	3.4	51.6	23.6	3.6	54.6	20.7	2.9	53.7	21.8	3.1	46	23.2	3	44.2	23.7	3.7
11	57.9	21.4	3.4	51.5	23.8	3.8	54.4	20.9	3.1	53.7	21.8	3.1	46	23.7	3.5	44.1	24	4
11.5	57.8	21.6	3.6	51.4	24	4	54.3	21.1	3.3	53.7	22.1	3.4	45.9	24	3.8	44	24.2	4.2
12	57.6	21.6	3.6	51.3	24.2	4.2	54.2	21.4	3.6	53.8	22.1	3.4	45.8	24	3.8	44	24.4	4.4
12.5	57.5	21.8	3.8	51.2	24.3	4.3	54.1	21.4	3.6	53.9	22.3	3.6	45.8	24.2	4	43.9	24.4	4.4
13	57.3	21.8	3.8	51.1	24.3	4.3	54	21.6	3.8	53.9	22.5	3.8	45.7	24.4	4.2	43.8	24.7	4.7
13.5	57.2	22.1	4.1	51	24.3	4.3	53.9	21.6	3.8	53.9	22.5	3.8	45.7	24.4	4.2	43.8	24.7	4.7
14	57.1	22.1	4.1	50.9	24.4	4.4	53.8	21.8	4	54	22.5	3.8	45.6	24.7	4.5	43.7	24.9	4.9
14.5	56.8	22.3	4.3	50.8	24.5	4.5	53.7	21.8	4	54	22.8	4.1	45.6	24.7	4.5	43.7	25.1	5.1
15	56.7	22.3	4.3	50.8	24.5	4.5	53.6	22.1	4.3	54	22.8	4.1	45.5	24.6	4.4	43.6	25.1	5.1
15.5	56.6	22.3	4.3	50.7	24.6	4.6	53.5	22.1	4.3	54	22.8	4.1	45.5	24.6	4.4	43.6	24.9	4.9
16	56.5	22.3	4.3	50.8	24.6	4.6	53.4	22.3	4.5	54.1	22.8	4.1	45.6	24.5	4.3	43.6	24.9	4.9
16.5	56.6	22.3	4.3	50.9	24.6	4.6	53.4	22.1	4.3	54.3	22.7	4	45.7	24.5	4.3	43.5	24.9	4.9
17	56.6	22.3	4.3	51	24.7	4.7	53.4	22.1	4.3	54.5	22.7	4	45.7	24.5	4.3	43.6	24.7	4.7
17.5	56.6	22.1	4.1	51	24.6	4.6	53.4	22.1	4.3	54.6	22.7	4	45.9	24.4	4.2	43.7	24.7	4.7
18	56.6	22.1	4.1	51.2	24.5	4.5	53.4	22.1	4.3	54.7	22.6	3.9	46	24.4	4.2	43.8	24.7	4.7
18.5	56.6	22.1	4.1	51.2	24.5	4.5	53.5	22.1	4.3	54.8	22.6	3.9	46.1	24.3	4.1	43.9	24.7	4.7
19	56.6	22.1	4.1	51.3	24.4	4.4	53.6	22.1	4.3	55	22.6	3.9	46.1	24.3	4.1	44	24.4	4.4
19.5	56.6	22.1	4.1	51.3	24.4	4.4	53.6	22.1	4.3	55	22.5	3.8	46.2	24.2	4	44.1	24.4	4.4
20	56.7	21.8	3.8	51.4	24.4	4.4	53.7	21.8	4	55.1	22.5	3.8	46.3	24.2	4	44.2	24.4	4.4
20.5	56.7	21.8	3.8	51.5	24.2	4.2	53.8	21.8	4	55.3	22.5	3.8	46.4	24.1	3.9	44.2	24.2	4.2
21	56.7	21.8	3.8	51.6	24.2	4.2	53.9	21.8	4	55.4	22.5	3.8	46.5	23.9	3.7	44.3	24.2	4.2
21.5	56.7	21.8	3.8	51.6	24.2	4.2	54	21.8	4	55.4	22.4	3.7	46.6	23.9	3.7	44.5	24.2	4.2
22	56.7	21.8	3.8	51.7	24.2	4.2	54.1	21.8	4	55.6	22.4	3.7	46.7	23.8	3.6	44.6	24.2	4.2
22.5	56.8	21.8	3.8	51.8	24.2	4.2	54.1	21.6	3.8	55.7	22.4	3.7	46.8	23.8	3.6	44.7	24.2	4.2

23	56.8	21.8	3.8	51.9	24.2	4.2	54.2	21.6	3.8	55.8	22.4	3.7	46.8	23.8	3.6	44.8	24.2	4.2
23.5	56.8	21.8	3.8	52	24	4	54.2	21.6	3.8	55.9	22.3	3.6	46.9	23.7	3.5	44.9	24	4
24	56.9	21.8	3.8	52.1	24	4	54.4	21.6	3.8	56.1	22.3	3.6	47	23.7	3.5	45	24	4
24.5	57	21.6	3.6	52.1	24	4	54.4	21.6	3.8	56.2	22.2	3.5	47.1	23.7	3.5	45.1	24	4
25	57	21.6	3.6	52.2	23.7	3.7	54.5	21.6	3.8	56.4	22.3	3.6	47.3	23.6	3.4	45.2	23.7	3.7
25.5	57.1	21.6	3.6	52.2	23.7	3.7	54.5	21.6	3.8	56.5	22.2	3.5	47.3	23.6	3.4	45.4	23.7	3.7
26	57.1	21.6	3.6	52.3	23.7	3.7	54.6	21.4	3.6	56.6	22.2	3.5	47.4	23.6	3.4	45.4	23.7	3.7
26.5	57.2	21.6	3.6	52.5	23.7	3.7	54.7	21.4	3.6	56.7	22.1	3.4	47.6	23.6	3.4	45.6	23.7	3.7
27	57.3	21.6	3.6	52.5	23.7	3.7	54.8	21.4	3.6	56.9	22.2	3.5	47.7	23.5	3.3	45.7	23.7	3.7
27.5	57.4	21.6	3.6	52.6	23.7	3.7	54.8	21.4	3.6	57	22.2	3.5	47.8	23.5	3.3	45.8	23.7	3.7
28	57.5	21.4	3.4	52.7	23.5	3.5	54.9	21.4	3.6	57.1	22.2	3.5	47.9	23.5	3.3	45.9	23.5	3.5
28.5	57.6	21.4	3.4	52.8	23.5	3.5	55	21.1	3.3	57.3	22.1	3.4	48	23.5	3.3	46.1	23.5	3.5
29	57.6	21.4	3.4	52.9	23.5	3.5	55	21.1	3.3	57.4	22.1	3.4	48.2	23.4	3.2	46.1	23.5	3.5
29.5	57.7	21.4	3.4	53	23.5	3.5	55.1	21.1	3.3	57.5	22.1	3.4	48.3	23.4	3.2	46.2	23.5	3.5
30	57.8	21.4	3.4	53	23.4	3.4	55.2	21.1	3.3	57.7	22	3.3	48.4	23.4	3.2	46.4	23.4	3.4
30.5	57.8	21.4	3.4	53.1	23.4	3.4	55.2	21.1	3.3	57.8	22	3.3	48.4	23.4	3.2	46.5	23.4	3.4
31	57.9	21.4	3.4	53.2	23.4	3.4	55.3	21.1	3.3	57.9	22	3.3	48.6	23.3	3.1	46.6	23.4	3.4
31.5	58	21.4	3.4	53.2	23.4	3.4	55.3	20.9	3.1	58	22	3.3	48.6	23.3	3.1	46.8	23.3	3.3
32	58.1	21.1	3.1	53.2	23.3	3.3	55.3	20.9	3.1	58.1	22	3.3	48.6	23.3	3.1	46.9	23.3	3.3
32.5	58.2	21.1	3.1	53.2	23.3	3.3	55.4	20.9	3.1	58.2	21.9	3.2	48.6	23.2	3	47.1	23.3	3.3
33	58.3	21.1	3.1	53.2	23.3	3.3	55.4	20.9	3.1	58.3	21.9	3.2	48.6	23.2	3	47.3	23.2	3.2
33.5	58.3	21.1	3.1	53.2	23.3	3.3	55.5	20.9	3.1	58.4	21.9	3.2	48.6	23.2	3	47.3	23.2	3.2
34	58.4	21.1	3.1	53.2	23.2	3.2	55.6	20.9	3.1	58.5	21.8	3.1	48.6	23.1	2.9	47.5	23.2	3.2
34.5	58.5	21.1	3.1	53.2	23.2	3.2	55.6	20.9	3.1	58.6	21.8	3.1	48.6	23.1	2.9	47.5	23.1	3.1
35	58.5	21.1	3.1	53.2	23.2	3.2	55.6	20.9	3.1	58.7	21.8	3.1	48.6	23.1	2.9	47.5	23.1	3.1

2.在環境模擬箱中，透過改變水氣含量(放氫氧化鈉 20g、60g、100g)來調整實驗組的氣體組成，以紅外線燈照射，對溫度變化進行觀測，其中 T_{A1} 為對照組(大氣組成)， T_{B1} 為實驗組(改變水氣含量)。



圖二十三、不同水氣與溫度變化的關係
(對照組)



圖二十四、不同水氣與溫度變化的關係
(實驗組)

★**小結論**：較潮溼的空氣(放 20gNaOH)中，升溫及降溫的溫度變化較慢，而較乾燥的空氣(放 100gNaOH)升溫及降溫的溫度變化較快。

實驗五：探討在紅外線照射下，地球上的植被、深色或黑色物質與否對溫度變化的差異。

一、實驗條件：

1.控制變因：

- (1)紅外線燈的照射：時間固定為 15 分鐘，照射距離為 45cm。
- (2)環境溫度：確保實驗開始時的環境溫度相同，避免外界影響。
- (3)測量設備：使用相同熱電耦溫度計測量溫度變化，濕度偵測器測量濕度變化。
- (4)在環境模擬裝置放入含有泥土的草皮(台北草)或黑絨布。

2.操縱變因：分別以二氧化碳氣體鋼瓶(附有流量)注入二氧化碳氣體 200cc、300cc、400cc、500cc 進入環境模擬箱的實驗組，藉此改變二氧化碳的濃度。

3.應變變因：環境模擬箱內的溫度變化 (升溫與降溫的幅度與速率)。

二、實驗步驟：

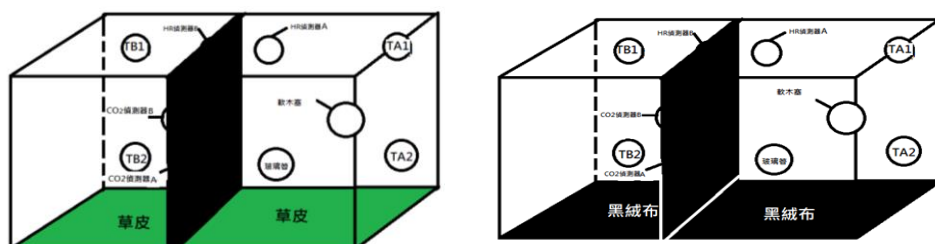
1.前置作業：

- (1)先將二氧化碳氣體鋼瓶(附有流量)的氣體流量控制 50cc/min，然後再以鐵氟龍的軟管分別注入二氧化碳氣體 200cc、300cc、400cc、500cc 進入環境模擬箱的實驗組(要先放入草皮或黑色絨布)，藉此調整環境模擬箱內的二氧化碳氣體濃度。
因二氧化碳的密度比空氣大會往下沉，等待 5 分鐘，二氧化碳濃度穩定後，再以玻璃注射器抽出相對應的空氣體積，以維持箱內氣體壓力平衡。
- (2)每次實驗前，須使用吹風機吹拂二氧化碳偵測器的探頭，清除殘留的二氧化碳，使偵測數值降至約 350 ppm，因大氣中二氧化碳濃度通常介於 300~400 ppm 之間。

2.實驗過程：

以二氧化碳氣體鋼瓶分別注入 200cc、300cc、400cc、500cc 注入環境模擬箱內的實驗組。注入二氧化碳，等待 5 分鐘，用玻璃注射器抽出相對應的空氣體積，等二氧化碳濃度穩定後，接著開啟紅外線燈進行升溫加熱 15 分鐘後，觀察升溫變化；隨後關閉紅外線燈 10 分鐘，觀察降溫變化。

三、實驗裝置圖：



圖二十五、地球上的植被與深色物質的環境實驗

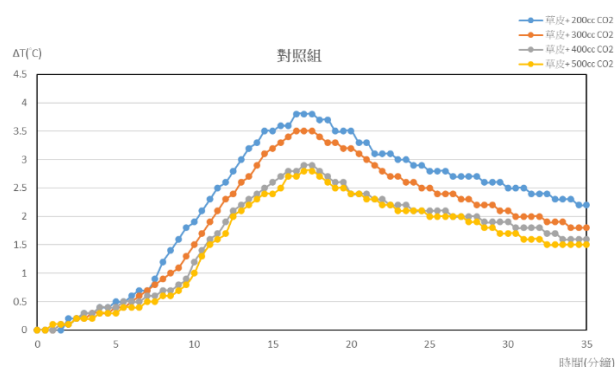
四、實驗結果：

(一)植被(草皮)在不同濃度 CO₂ 與溫度變化的差異

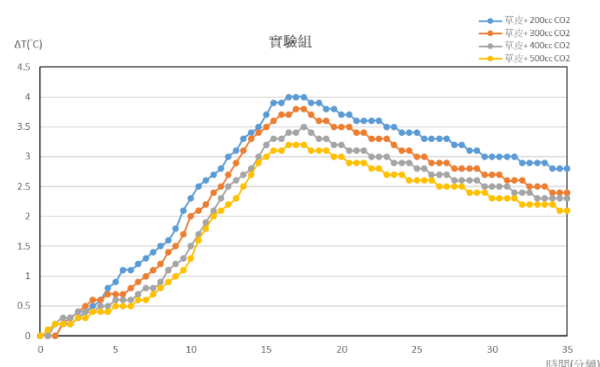
表五、在紅外線照射下，草皮在不同濃度 CO₂ 與溫度變化的差異

實驗五、對照組溫度變化									實驗組溫度變化							
時間 (min)	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}
	草皮+ 200cc CO ₂	草皮+ 200cc CO ₂	草皮+ 300cc CO ₂	草皮+ 300cc CO ₂	草皮+ 400cc CO ₂	草皮+ 400cc CO ₂	草皮+ 500cc CO ₂	草皮+ 500cc CO ₂	草皮+ 200cc CO ₂	草皮+ 200cc CO ₂	草皮+ 300cc CO ₂	草皮+ 300cc CO ₂	草皮+ 400cc CO ₂	草皮+ 400cc CO ₂	草皮+ 500cc CO ₂	草皮+ 500cc CO ₂
0	20.2	0	21.6	0	21.2	0	19.4	0	20.2	0	21.4	0	20.4	0	18.7	0
0.5	20.2	0	21.6	0	21.2	0	19.4	0	20.2	0	21.4	0	20.4	0	18.8	0.1
1	20.2	0	21.6	0	21.2	0	19.5	0.1	20.2	0	21.4	0	20.6	0.2	18.9	0.2
1.5	20.2	0	21.7	0.1	21.3	0.1	19.5	0.1	20.4	0.2	21.6	0.2	20.7	0.3	18.9	0.2
2	20.4	0.2	21.7	0.1	21.3	0.1	19.5	0.1	20.4	0.2	21.7	0.3	20.7	0.3	18.9	0.2
2.5	20.4	0.2	21.8	0.2	21.4	0.2	19.6	0.2	20.5	0.3	21.8	0.4	20.8	0.4	19	0.3
3	20.5	0.3	21.8	0.2	21.5	0.3	19.6	0.2	20.6	0.4	21.9	0.5	20.8	0.4	19	0.3
3.5	20.5	0.3	21.9	0.3	21.5	0.3	19.6	0.2	20.7	0.5	22	0.6	20.8	0.4	19.1	0.4
4	20.6	0.4	21.9	0.3	21.6	0.4	19.7	0.3	20.8	0.6	22	0.6	20.9	0.5	19.1	0.4
4.5	20.6	0.4	21.9	0.3	21.6	0.4	19.7	0.3	21	0.8	22.1	0.7	20.9	0.5	19.1	0.4
5	20.7	0.5	22	0.4	21.6	0.4	19.7	0.3	21.1	0.9	22.1	0.7	21	0.6	19.2	0.5
5.5	20.7	0.5	22	0.4	21.7	0.5	19.8	0.4	21.3	1.1	22.1	0.7	21	0.6	19.2	0.5
6	20.8	0.6	22.1	0.5	21.7	0.5	19.8	0.4	21.3	1.1	22.2	0.8	21	0.6	19.2	0.5
6.5	20.9	0.7	22.2	0.6	21.7	0.5	19.8	0.4	21.4	1.2	22.3	0.9	21.1	0.7	19.3	0.6
7	20.9	0.7	22.3	0.7	21.8	0.6	19.9	0.5	21.5	1.3	22.4	1	21.2	0.8	19.3	0.6
7.5	21.1	0.9	22.4	0.8	21.8	0.6	19.9	0.5	21.6	1.4	22.5	1.1	21.2	0.8	19.4	0.7
8	21.4	1.2	22.5	0.9	21.9	0.7	20	0.6	21.7	1.5	22.6	1.2	21.3	0.9	19.5	0.8
8.5	21.6	1.4	22.6	1	21.9	0.7	20	0.6	21.8	1.6	22.8	1.4	21.5	1.1	19.6	0.9
9	21.8	1.6	22.7	1.1	22	0.8	20.1	0.7	22	1.8	22.9	1.5	21.6	1.2	19.7	1
9.5	22	1.8	22.9	1.3	22.1	0.9	20.2	0.8	22.3	2.1	23.1	1.7	21.7	1.3	19.8	1.1
10	22.1	1.9	23.1	1.5	22.4	1.2	20.4	1	22.5	2.3	23.4	2	21.9	1.5	20	1.3
10.5	22.3	2.1	23.3	1.7	22.6	1.4	20.7	1.3	22.7	2.5	23.5	2.1	22.1	1.7	20.3	1.6
11	22.5	2.3	23.5	1.9	22.8	1.6	20.9	1.5	22.8	2.6	23.6	2.2	22.3	1.9	20.5	1.8
11.5	22.7	2.5	23.7	2.1	22.9	1.7	21	1.6	22.9	2.7	23.8	2.4	22.5	2.1	20.7	2
12	22.8	2.6	23.9	2.3	23.1	1.9	21.1	1.7	23	2.8	23.9	2.5	22.7	2.3	20.8	2.1
12.5	23	2.8	24	2.4	23.3	2.1	21.4	2	23.2	3	24.1	2.7	22.9	2.5	20.9	2.2
13	23.2	3	24.2	2.6	23.4	2.2	21.5	2.1	23.3	3.1	24.3	2.9	23	2.6	21	2.3
13.5	23.4	3.2	24.3	2.7	23.5	2.3	21.6	2.2	23.5	3.3	24.5	3.1	23.1	2.7	21.2	2.5
14	23.5	3.3	24.5	2.9	23.6	2.4	21.7	2.3	23.6	3.4	24.7	3.3	23.2	2.8	21.4	2.7
14.5	23.7	3.5	24.7	3.1	23.7	2.5	21.8	2.4	23.7	3.5	24.8	3.4	23.4	3	21.6	2.9
15	23.7	3.5	24.8	3.2	23.8	2.6	21.8	2.4	23.9	3.7	24.9	3.5	23.6	3.2	21.7	3
15.5	23.8	3.6	24.9	3.3	23.9	2.7	21.9	2.5	24.1	3.9	25	3.6	23.7	3.3	21.8	3.1
16	23.8	3.6	25	3.4	24	2.8	22.1	2.7	24.1	3.9	25.1	3.7	23.7	3.3	21.8	3.1
16.5	24	3.8	25.1	3.5	24	2.8	22.1	2.7	24.2	4	25.1	3.7	23.8	3.4	21.9	3.2
17	24	3.8	25.1	3.5	24.1	2.9	22.2	2.8	24.2	4	25.2	3.8	23.8	3.4	21.9	3.2
17.5	24	3.8	25.1	3.5	24.1	2.9	22.2	2.8	24.2	4	25.2	3.8	23.9	3.5	21.9	3.2
18	23.9	3.7	25	3.4	24	2.8	22.1	2.7	24.1	3.9	25.1	3.7	23.8	3.4	21.8	3.1
18.5	23.9	3.7	24.9	3.3	23.9	2.7	22	2.6	24.1	3.9	25	3.6	23.7	3.3	21.8	3.1
19	23.7	3.5	24.9	3.3	23.8	2.6	21.9	2.5	24	3.8	25	3.6	23.7	3.3	21.8	3.1
19.5	23.7	3.5	24.8	3.2	23.8	2.6	21.9	2.5	24	3.8	24.9	3.5	23.6	3.2	21.7	3
20	23.7	3.5	24.8	3.2	23.6	2.4	21.8	2.4	23.9	3.7	24.9	3.5	23.6	3.2	21.7	3
20.5	23.5	3.3	24.7	3.1	23.6	2.4	21.8	2.4	23.9	3.7	24.9	3.5	23.5	3.1	21.6	2.9
21	23.5	3.3	24.6	3	23.6	2.4	21.7	2.3	23.8	3.6	24.8	3.4	23.5	3.1	21.6	2.9
21.5	23.3	3.1	24.5	2.9	23.5	2.3	21.7	2.3	23.8	3.6	24.8	3.4	23.5	3.1	21.6	2.9

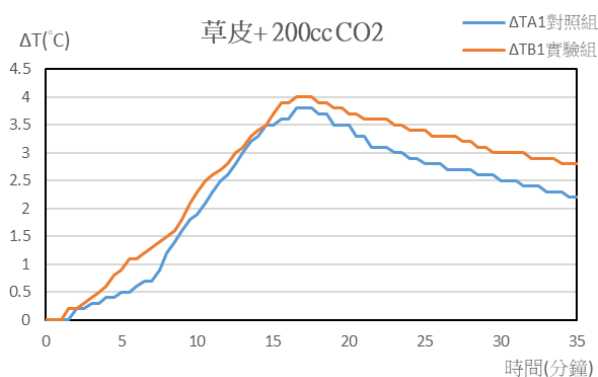
22	23.3	3.1	24.4	2.8	23.5	2.3	21.6	2.2	23.8	3.6	24.7	3.3	23.4	3	21.5	2.8
22.5	23.3	3.1	24.3	2.7	23.4	2.2	21.6	2.2	23.8	3.6	24.7	3.3	23.4	3	21.5	2.8
23	23.2	3	24.3	2.7	23.4	2.2	21.5	2.1	23.7	3.5	24.7	3.3	23.4	3	21.4	2.7
23.5	23.2	3	24.2	2.6	23.4	2.2	21.5	2.1	23.7	3.5	24.6	3.2	23.3	2.9	21.4	2.7
24	23.1	2.9	24.2	2.6	23.3	2.1	21.5	2.1	23.6	3.4	24.5	3.1	23.3	2.9	21.4	2.7
24.5	23.1	2.9	24.1	2.5	23.3	2.1	21.5	2.1	23.6	3.4	24.5	3.1	23.3	2.9	21.3	2.6
25	23	2.8	24.1	2.5	23.3	2.1	21.4	2	23.6	3.4	24.4	3	23.2	2.8	21.3	2.6
25.5	23	2.8	24	2.4	23.3	2.1	21.4	2	23.5	3.3	24.4	3	23.2	2.8	21.3	2.6
26	23	2.8	24	2.4	23.3	2.1	21.4	2	23.5	3.3	24.3	2.9	23.1	2.7	21.3	2.6
26.5	22.9	2.7	24	2.4	23.2	2	21.4	2	23.5	3.3	24.3	2.9	23.1	2.7	21.2	2.5
27	22.9	2.7	23.9	2.3	23.2	2	21.4	2	23.5	3.3	24.3	2.9	23.1	2.7	21.2	2.5
27.5	22.9	2.7	23.9	2.3	23.2	2	21.3	1.9	23.4	3.2	24.2	2.8	23	2.6	21.2	2.5
28	22.9	2.7	23.8	2.2	23.2	2	21.3	1.9	23.4	3.2	24.2	2.8	23	2.6	21.2	2.5
28.5	22.8	2.6	23.8	2.2	23.1	1.9	21.2	1.8	23.3	3.1	24.2	2.8	23	2.6	21.1	2.4
29	22.8	2.6	23.8	2.2	23.1	1.9	21.2	1.8	23.3	3.1	24.2	2.8	23	2.6	21.1	2.4
29.5	22.8	2.6	23.7	2.1	23.1	1.9	21.1	1.7	23.2	3	24.1	2.7	22.9	2.5	21.1	2.4
30	22.7	2.5	23.7	2.1	23.1	1.9	21.1	1.7	23.2	3	24.1	2.7	22.9	2.5	21	2.3
30.5	22.7	2.5	23.6	2	23	1.8	21.1	1.7	23.2	3	24.1	2.7	22.9	2.5	21	2.3
31	22.7	2.5	23.6	2	23	1.8	21	1.6	23.2	3	24	2.6	22.9	2.5	21	2.3
31.5	22.6	2.4	23.6	2	23	1.8	21	1.6	23.2	3	24	2.6	22.8	2.4	21	2.3
32	22.6	2.4	23.6	2	23	1.8	21	1.6	23.1	2.9	24	2.6	22.8	2.4	20.9	2.2
32.5	22.6	2.4	23.5	1.9	22.9	1.7	20.9	1.5	23.1	2.9	23.9	2.5	22.8	2.4	20.9	2.2
33	22.5	2.3	23.5	1.9	22.9	1.7	20.9	1.5	23.1	2.9	23.9	2.5	22.7	2.3	20.9	2.2
33.5	22.5	2.3	23.5	1.9	22.8	1.6	20.9	1.5	23.1	2.9	23.9	2.5	22.7	2.3	20.9	2.2
34	22.5	2.3	23.4	1.8	22.8	1.6	20.9	1.5	23	2.8	23.8	2.4	22.7	2.3	20.9	2.2
34.5	22.4	2.2	23.4	1.8	22.8	1.6	20.9	1.5	23	2.8	23.8	2.4	22.7	2.3	20.8	2.1
35	22.4	2.2	23.4	1.8	22.8	1.6	20.9	1.5	23	2.8	23.8	2.4	22.7	2.3	20.8	2.1



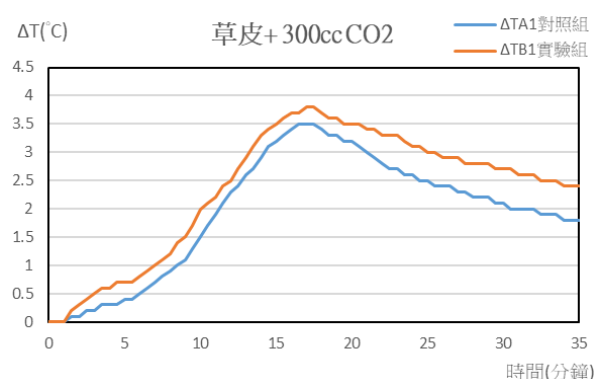
圖二十六、草皮+不同濃度 CO₂ 與溫度變化的關係 (對照組)



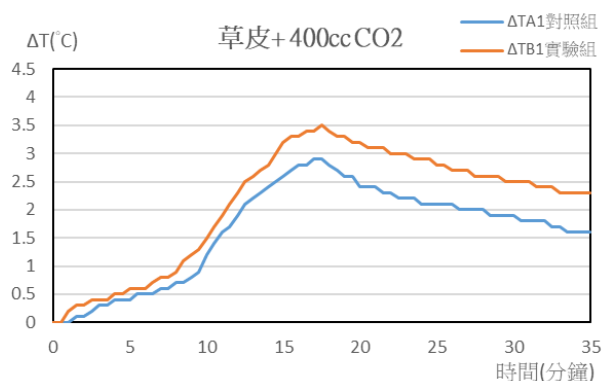
圖二十七、草皮+不同濃度 CO₂ 與溫度變化的關係 (實驗組)



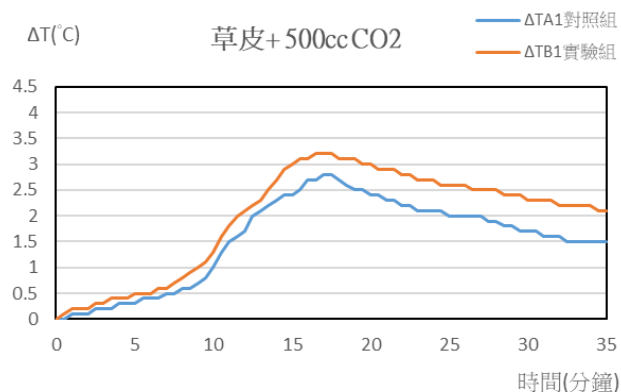
圖二十八、草皮+ 200cc CO₂ 與溫度變化關係



圖二十九、草皮+ 300cc CO₂ 與溫度變化關係



圖三十、草皮+ 400cc CO₂ 與溫度變化關係



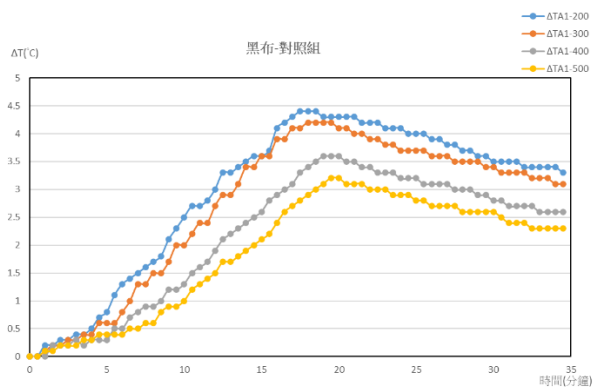
圖三十一、草皮+ 500cc CO₂ 與溫度變化關係

(二)深色物質(黑絨布) 在不同濃度 CO₂ 與溫度變化的差異

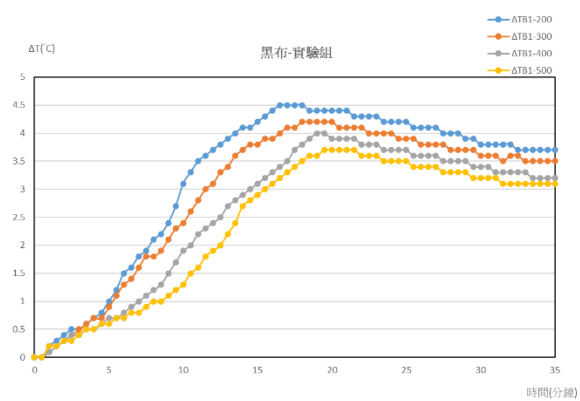
表六、在紅外線照射下，黑絨布在不同濃度 CO₂ 與溫度變化的差異

時間 (min)	實驗五、對照組溫度變化								實驗組溫度變化							
	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{A1}	ΔT _{A1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}	T _{B1}	ΔT _{B1}
	黑布+ 200cc CO ₂	ΔT _{A1- 200}	黑布+ 300cc CO ₂	ΔT _{A1- 300}	黑布+ 400cc CO ₂	ΔT _{A1- 400}	黑布+ 500cc CO ₂	ΔT _{A1- 500}	黑布+ 200cc CO ₂	ΔT _{B1- 200}	黑布+ 300cc CO ₂	ΔT _{B1- 300}	黑布+ 400cc CO ₂	ΔT _{B1- 400}	黑布+ 500cc CO ₂	ΔT _{B1- 500}
0	20.2	0	20.1	0	19.5	0	20.4	0	19.7	0	19.5	0	20.4	0	19.8	0
0.5	20.2	0	20.1	0	19.5	0	20.4	0	19.7	0	19.5	0	20.4	0	19.8	0
1	20.4	0.2	20.2	0.1	19.5	0	20.5	0.1	19.9	0.2	19.6	0.1	20.5	0.1	20	0.2
1.5	20.4	0.2	20.3	0.2	19.7	0.2	20.5	0.1	20	0.3	19.7	0.2	20.6	0.2	20	0.2
2	20.5	0.3	20.3	0.2	19.7	0.2	20.6	0.2	20.1	0.4	19.8	0.3	20.7	0.3	20.1	0.3
2.5	20.5	0.3	20.4	0.3	19.7	0.2	20.6	0.2	20.2	0.5	19.9	0.4	20.8	0.4	20.1	0.3
3	20.6	0.4	20.4	0.3	19.8	0.3	20.6	0.2	20.2	0.5	20	0.5	20.8	0.4	20.2	0.4
3.5	20.6	0.4	20.5	0.4	19.7	0.2	20.7	0.3	20.3	0.6	20.1	0.6	20.9	0.5	20.3	0.5
4	20.7	0.5	20.5	0.4	19.8	0.3	20.7	0.3	20.4	0.7	20.2	0.7	20.9	0.5	20.3	0.5
4.5	20.9	0.7	20.7	0.6	19.8	0.3	20.8	0.4	20.5	0.8	20.2	0.7	21	0.6	20.4	0.6
5	21	0.8	20.7	0.6	19.8	0.3	20.8	0.4	20.7	1	20.4	0.9	21.1	0.7	20.4	0.6
5.5	21.3	1.1	20.7	0.6	20	0.5	20.8	0.4	20.9	1.2	20.6	1.1	21.1	0.7	20.5	0.7
6	21.5	1.3	20.9	0.8	20	0.5	20.8	0.4	21.2	1.5	20.8	1.3	21.2	0.8	20.5	0.7
6.5	21.6	1.4	21.1	1	20.2	0.7	20.9	0.5	21.3	1.6	20.9	1.4	21.3	0.9	20.6	0.8
7	21.7	1.5	21.4	1.3	20.3	0.8	20.9	0.5	21.5	1.8	21.1	1.6	21.4	1	20.6	0.8
7.5	21.8	1.6	21.4	1.3	20.4	0.9	21	0.6	21.6	1.9	21.3	1.8	21.5	1.1	20.7	0.9
8	21.9	1.7	21.6	1.5	20.4	0.9	21	0.6	21.8	2.1	21.3	1.8	21.6	1.2	20.8	1
8.5	22	1.8	21.6	1.5	20.5	1	21.2	0.8	21.9	2.2	21.4	1.9	21.7	1.3	20.8	1
9	22.3	2.1	21.8	1.7	20.7	1.2	21.3	0.9	22.1	2.4	21.6	2.1	21.9	1.5	20.9	1.1
9.5	22.5	2.3	22.1	2	20.7	1.2	21.3	0.9	22.4	2.7	21.8	2.3	22.1	1.7	21	1.2
10	22.7	2.5	22.1	2	20.8	1.3	21.4	1	22.8	3.1	21.9	2.4	22.3	1.9	21.1	1.3
10.5	22.9	2.7	22.3	2.2	21	1.5	21.6	1.2	23	3.3	22.1	2.6	22.4	2	21.3	1.5
11	22.9	2.7	22.5	2.4	21.1	1.6	21.7	1.3	23.2	3.5	22.3	2.8	22.6	2.2	21.4	1.6
11.5	23	2.8	22.5	2.4	21.2	1.7	21.8	1.4	23.3	3.6	22.5	3	22.7	2.3	21.6	1.8
12	23.2	3	22.8	2.7	21.4	1.9	21.9	1.5	23.4	3.7	22.6	3.1	22.8	2.4	21.7	1.9
12.5	23.5	3.3	23	2.9	21.6	2.1	22.1	1.7	23.5	3.8	22.8	3.3	22.9	2.5	21.8	2
13	23.5	3.3	23	2.9	21.7	2.2	22.1	1.7	23.6	3.9	22.9	3.4	23.1	2.7	22	2.2

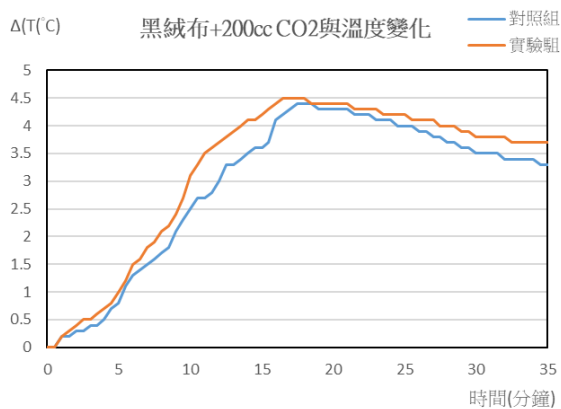
13.5	23.6	3.4	23.2	3.1	21.8	2.3	22.2	1.8	23.7	4	23.1	3.6	23.2	2.8	22.2	2.4
14	23.7	3.5	23.5	3.4	21.9	2.4	22.3	1.9	23.8	4.1	23.2	3.7	23.3	2.9	22.5	2.7
14.5	23.8	3.6	23.5	3.4	22	2.5	22.4	2	23.8	4.1	23.3	3.8	23.4	3	22.6	2.8
15	23.8	3.6	23.7	3.6	22.1	2.6	22.5	2.1	23.9	4.2	23.3	3.8	23.5	3.1	22.7	2.9
15.5	23.9	3.7	23.7	3.6	22.3	2.8	22.6	2.2	24	4.3	23.4	3.9	23.6	3.2	22.8	3
16	24.3	4.1	24	3.9	22.4	2.9	22.8	2.4	24.1	4.4	23.4	3.9	23.7	3.3	22.9	3.1
16.5	24.4	4.2	24	3.9	22.5	3	23	2.6	24.2	4.5	23.5	4	23.8	3.4	23	3.2
17	24.5	4.3	24.2	4.1	22.6	3.1	23.1	2.7	24.2	4.5	23.6	4.1	23.9	3.5	23.1	3.3
17.5	24.6	4.4	24.2	4.1	22.8	3.3	23.2	2.8	24.2	4.5	23.6	4.1	24.1	3.7	23.2	3.4
18	24.6	4.4	24.3	4.2	22.9	3.4	23.3	2.9	24.2	4.5	23.7	4.2	24.2	3.8	23.3	3.5
18.5	24.6	4.4	24.3	4.2	23	3.5	23.4	3	24.1	4.4	23.7	4.2	24.3	3.9	23.4	3.6
19	24.5	4.3	24.3	4.2	23.1	3.6	23.5	3.1	24.1	4.4	23.7	4.2	24.4	4	23.4	3.6
19.5	24.5	4.3	24.3	4.2	23.1	3.6	23.6	3.2	24.1	4.4	23.7	4.2	24.4	4	23.5	3.7
20	24.5	4.3	24.2	4.1	23.1	3.6	23.6	3.2	24.1	4.4	23.7	4.2	24.3	3.9	23.5	3.7
20.5	24.5	4.3	24.2	4.1	23	3.5	23.5	3.1	24.1	4.4	23.6	4.1	24.3	3.9	23.5	3.7
21	24.5	4.3	24.1	4	23	3.5	23.5	3.1	24.1	4.4	23.6	4.1	24.3	3.9	23.5	3.7
21.5	24.4	4.2	24.1	4	22.9	3.4	23.5	3.1	24	4.3	23.6	4.1	24.3	3.9	23.5	3.7
22	24.4	4.2	24	3.9	22.9	3.4	23.4	3	24	4.3	23.6	4.1	24.2	3.8	23.4	3.6
22.5	24.4	4.2	24	3.9	22.8	3.3	23.4	3	24	4.3	23.5	4	24.2	3.8	23.4	3.6
23	24.3	4.1	23.9	3.8	22.8	3.3	23.4	3	24	4.3	23.5	4	24.2	3.8	23.4	3.6
23.5	24.3	4.1	23.9	3.8	22.8	3.3	23.3	2.9	23.9	4.2	23.5	4	24.1	3.7	23.3	3.5
24	24.3	4.1	23.8	3.7	22.7	3.2	23.3	2.9	23.9	4.2	23.5	4	24.1	3.7	23.3	3.5
24.5	24.2	4	23.8	3.7	22.7	3.2	23.3	2.9	23.9	4.2	23.4	3.9	24.1	3.7	23.3	3.5
25	24.2	4	23.8	3.7	22.7	3.2	23.2	2.8	23.9	4.2	23.4	3.9	24.1	3.7	23.3	3.5
25.5	24.2	4	23.8	3.7	22.6	3.1	23.2	2.8	23.8	4.1	23.4	3.9	24	3.6	23.2	3.4
26	24.1	3.9	23.7	3.6	22.6	3.1	23.1	2.7	23.8	4.1	23.3	3.8	24	3.6	23.2	3.4
26.5	24.1	3.9	23.7	3.6	22.6	3.1	23.1	2.7	23.8	4.1	23.3	3.8	24	3.6	23.2	3.4
27	24	3.8	23.7	3.6	22.6	3.1	23.1	2.7	23.8	4.1	23.3	3.8	24	3.6	23.2	3.4
27.5	24	3.8	23.6	3.5	22.5	3	23.1	2.7	23.7	4	23.3	3.8	23.9	3.5	23.1	3.3
28	23.9	3.7	23.6	3.5	22.5	3	23	2.6	23.7	4	23.2	3.7	23.9	3.5	23.1	3.3
28.5	23.9	3.7	23.6	3.5	22.5	3	23	2.6	23.7	4	23.2	3.7	23.9	3.5	23.1	3.3
29	23.8	3.6	23.6	3.5	22.4	2.9	23	2.6	23.6	3.9	23.2	3.7	23.9	3.5	23.1	3.3
29.5	23.8	3.6	23.5	3.4	22.4	2.9	23	2.6	23.6	3.9	23.2	3.7	23.8	3.4	23	3.2
30	23.7	3.5	23.5	3.4	22.3	2.8	23	2.6	23.5	3.8	23.1	3.6	23.8	3.4	23	3.2
30.5	23.7	3.5	23.4	3.3	22.3	2.8	22.9	2.5	23.5	3.8	23.1	3.6	23.8	3.4	23	3.2
31	23.7	3.5	23.4	3.3	22.2	2.7	22.8	2.4	23.5	3.8	23.1	3.6	23.7	3.3	23	3.2
31.5	23.7	3.5	23.4	3.3	22.2	2.7	22.8	2.4	23.5	3.8	23	3.5	23.7	3.3	22.9	3.1
32	23.6	3.4	23.4	3.3	22.2	2.7	22.8	2.4	23.5	3.8	23.1	3.6	23.7	3.3	22.9	3.1
32.5	23.6	3.4	23.3	3.2	22.2	2.7	22.7	2.3	23.4	3.7	23.1	3.6	23.7	3.3	22.9	3.1
33	23.6	3.4	23.3	3.2	22.1	2.6	22.7	2.3	23.4	3.7	23	3.5	23.7	3.3	22.9	3.1
33.5	23.6	3.4	23.3	3.2	22.1	2.6	22.7	2.3	23.4	3.7	23	3.5	23.6	3.2	22.9	3.1
34	23.6	3.4	23.2	3.1	22.1	2.6	22.7	2.3	23.4	3.7	23	3.5	23.6	3.2	22.9	3.1
34.5	23.5	3.3	23.2	3.1	22.1	2.6	22.7	2.3	23.4	3.7	23	3.5	23.6	3.2	22.9	3.1
35	23.5	3.3	23.2	3.1	22.1	2.6	22.6	2.2	23.4	3.7	23	3.5	23.6	3.2	22.9	3.1



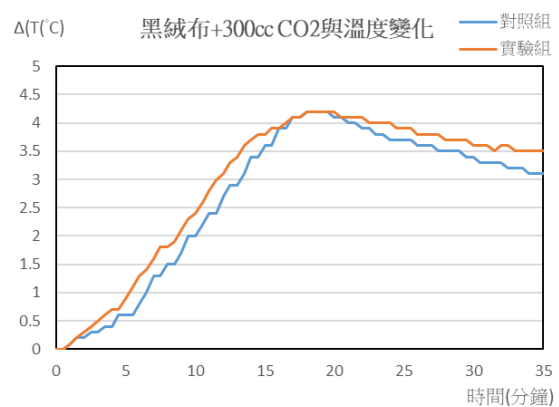
圖二十八、黑絨布+不同濃度 CO_2 與溫度變化關係(對照組)



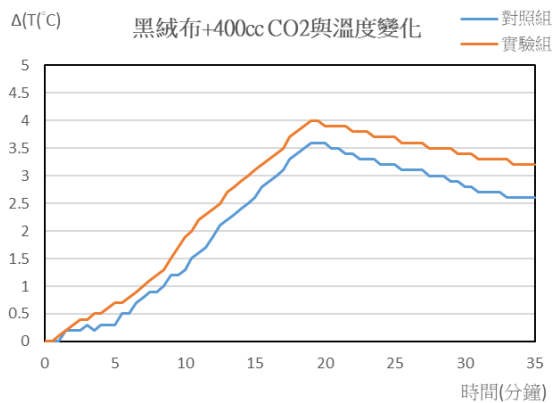
圖二十九、黑絨布+不同濃度 CO_2 與溫度變化關係(實驗組)



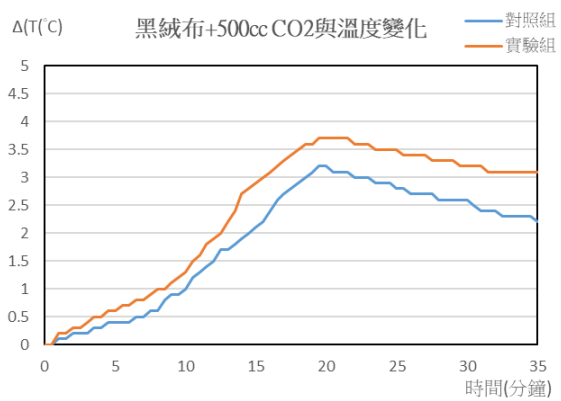
圖三十、黑絨布+ 200cc CO_2 與溫度變化關係



圖三十一、黑絨布+ 300cc CO_2 與溫度變化關係



圖三十二、黑絨布+ 400cc CO_2 與溫度變化關係



圖三十三、黑絨布+ 500cc CO_2 與溫度變化關係

★**小結論**：裝有草皮的實驗裡，升、降溫的速度皆比裡面沒有草皮的速度慢。

裝有黑色絨布的實驗裡，升、降溫的速度皆比裡面沒有黑絨布的速度慢。

柒、討論

- 一、太陽光照射進入地球時，太陽光會散發出的紅外線會穿過大氣層來到地表，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。在我們所探討的氣體(CO₂、H₂O、O₂)中，發現**氧氣**對於溫室效應影響最小，而**水蒸氣**雖然降溫較**二氧化碳**慢，但是由於人類大量製造二氧化碳，因此推測**二氧化碳**為溫室效應的主因。
- 二、本實驗所使用的紅外線燈是德製 Beurer IL50 紅外線燈，模擬**太陽輻射**。紅外線鹵素燈泡規格為 110V/300W，波長範圍 600nm 到 1700nm 是屬於短波紅外線，能量較高。

表七、短波紅外線與長波紅外線的區別

特性	短波紅外線	長波紅外線
波長範圍	700nm~1500nm	8000nm~15000nm
主要來源	太陽輻射	地球熱輻射
能量高低	能量較高	能量較低
作用	穿透力強，可用於夜視、遙感成像	主要與溫室效應相關，影響地球氣候

太陽發出的輻射中，約半數是可見光(波長約 400 nm~700nm)，其餘紫外線(波長約 10nm~400nm)與**短波紅外線**(波長約 700nm~1500nm)，這些能量被地球表面吸收後，地球會以**長波紅外線**(波長約 8000nm~15000nm)形式向外輻射的熱量，此稱為**地球熱輻射**或**熱紅外線**。

- 三、地球熱輻射與溫室效應將是維持地球適宜溫度的關鍵。當太陽光照射到地球，地球吸收**短波輻射**並將其轉化為熱量，這些熱量以**長波紅外線**的形式輻射回太空，而大氣中的**溫室氣體**（如二氧化碳、甲烷、水蒸氣）吸收這些**長波紅外線**，並將熱量反射回地表，形成保溫層，保持地表溫暖。當溫室氣體過多時，它們過度吸收紅外線，導致更多熱量被困在大氣層中，造成全球暖化和極端氣候。因此，控制溫室氣體排放是避免氣候變化的關鍵。
- 四、**紅外線**對溫室氣體既有**正面**作用，也可能帶來**負面**影響。

(一)正面影響：

- 1.維持適宜氣溫：溫室氣體(如二氧化碳、水蒸氣、甲烷)吸收地球釋放的紅外線並輻射部分熱量回地表，使地球溫度穩定，避免白天極熱、夜晚極冷的劇烈變化。
- 2.促進生命發展：適當的溫室效應讓地球維持約 15°C 的平均溫度，使生態系統穩定，支持生物生存與繁衍。

(二)負面影響

- 1.加劇暖化：溫室氣體過量吸收紅外線，使熱量無法有效散逸，導致氣溫上升，引發冰川融化、海平面上升與極端氣候。
- 2.影響氣候平衡：過多熱量滯留影響氣流與海洋環流，增加颶風、暴雨、乾旱等極端

天氣，改變降水模式，影響農業與生態。

- 五、由實驗二結果顯示，大氣中二氧化碳濃度越高，溫室效應越強，從而加劇地球暖化的現象。二氧化碳濃度過高會吸收更多紅外線，導致地球暖化，並影響氣候、生態與社會等。
- 六、由實驗二可知：當二氧化碳濃度較低時，增加少量二氧化碳會顯著增強溫室效應，但當濃度已經較高時，進一步增加二氧化碳對升溫的影響逐漸減小，應該就是所謂的**遞減效應（Logarithmic Effect）**，指的是二氧化碳對升溫的影響隨濃度增加而逐漸減弱。應該就是隨著二氧化碳濃度增高，吸收的紅外線波長範圍接近飽和，升溫效應減弱。因此，在低濃度時，二氧化碳增加會顯著影響氣溫。在高濃度時，二氧化碳增加的升溫效果較小。
- 七、地球暖化的關鍵因素之一是**水蒸氣**。由實驗三研究顯示，二氧化碳、水蒸氣和氧氣在同一空間內受光照時，升溫速率相似，而光照停止後，它們的降溫速度較慢，這使得溫室效應加劇。隨著二氧化碳濃度的增加，對紅外線的吸收也增強，導致更多的熱量被困在大氣中，溫度上升，在溫室模型內的降溫變得更困難。
- 八、由實驗四可知：較潮溼的空氣(放 20gNaOH)中，升溫及降溫的溫度變化較慢，而較乾燥的空氣(放 100gNaOH)升溫及降溫的溫度變化較快。水氣是關鍵的天然溫室氣體，但其變化取決於溫度，無法像 CO₂ 長期累積。因水氣的溫室效應使地球吸收太陽輻射後釋放紅外線，水氣具有吸收並重新輻射這些熱能，使地球保持溫暖。若無水氣等溫室氣體，地表均溫將降至約 -18°C，而非目前的約 15°C。因此，CO₂ 是全球暖化的主要驅動因子，而水氣則是放大效應的助力。
- 九、由實驗五可知：利用帶有泥土的台北草做為草皮，模擬地表的綠色植物，植物吸收二氧化碳並透過蒸散作用降溫，有助於減少溫室氣體濃度，減緩全球暖化，對生態平衡至關重要。
- 十、由實驗五可知：我們自然課曾學過黑色物質容易吸收輻射熱，因此我們以黑絨布模擬深色物質，發現黑色或深色物質可以吸收更多太陽輻射，導致局部暖化，進一步加劇溫室效應並加速全球暖化。

捌、結論

陽光中的紅外線穿過大氣層到達地表，地表吸收後釋放紅外線，但部分被大氣中的氣體吸收，減少散逸，保持地球溫暖。我們研究顯示：

- (一) **水蒸氣**的影響：水蒸氣對溫室效應影響最劇烈，升溫較慢但降溫也慢。水是地球的重要存在，對生物生存至關重要，並在地球中不斷循環。
- (二) **二氧化碳**的影響：二氧化碳升溫速度快與降溫速度較慢，濃度隨溫度升高而增加，對紅外線的吸收能力提高，進一步增加溫室效應，導致溫度上升幅度更大，降溫難度增加。若不控制其濃度，將加劇溫室效應，威脅地球生物生存，造成不可挽回的影響。
- (三) **氧氣**的影響：氧氣不直接參與溫室效應，對溫室效應影響非常有限，主要作用是維持大氣組成及生物生命。
- (四) **植被**的影響：植物吸收二氧化碳並透過蒸散作用降溫，有助於減少溫室氣體濃度，減緩全球暖化，對生態平衡至關重要。
- (五) **黑色或深色物質**的影響：黑色或深色物質吸收更多太陽輻射，導致局部暖化，進一步加劇溫室效應並加速全球暖化。

總之，水蒸氣影響最大，但二氧化碳是主導全球變暖的關鍵，控制二氧化碳排放是減緩氣候變遷的重點。

玖、未來展望

在溫室氣體中，水蒸氣對溫室效應的影響最大，占約 60%，但其濃度由氣溫決定，無法直接受人為控制。但二氧化碳是導致長期氣候變遷的關鍵因素，壽命長，會升高全球氣溫，進而增加水蒸氣含量，加強溫室效應。

至於甲烷、氮氧化物、氟化氣體（HFCs、PFCs、SF₆）等溫室氣體，礙於目前安全考量，我們無法去驗證，可作為未來繼續探討的方向與目標。

但從文獻可知：甲烷雖然短期增溫能力比二氧化碳強 25 倍，但壽命較短。氮氧化物（N₂O）影響臭氧層，溫室效應能力為二氧化碳的 300 倍。氟化氣體（HFCs、PFCs、SF₆）雖然效能最強，但總量較少。

拾、參考文獻資料

1.康軒 SDGs

https://sdgs.knsh.com.tw/campus/extend?Article=Goal01_13

2.Greenpeace 綠色和平

<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/27689/%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%95%88%E6%87%89%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC%EF%BC%9F%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%9C%89%E5%93%AA%E4%BA%9B%EF%BC%9F%E8%88%87%E5%85%A8%E7%90%83%E6%9A%96%E5%8C%96%E6%9C%89/>

3.室內空氣品質資訊網

<https://iaq.moenv.gov.tw/indoorair/doc/A44811C.pdf>

4.台灣網路科教館

<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6841&p=1&lid=6896>

5.翰林雲端學院二氧化碳製備實驗

<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%90%86%E5%8C%96/%E4%BA%8C%E6%B0%A7%E5%8C%96%E7%A2%B3%E8%A3%BD%E5%82%99%E5%AF%A6%E9%A9%97.html>

6.科學人

<https://www.scitw.cc/posts/SCI-STORY-274>