

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

團隊合作獎

030511

「白漆」也能救地球：以 Arduino 微型溫室模型探討綠建築應用

學校名稱：臺中市立崇德國民中學

作者： 國二 簡維辰 國二 賴宥丞 國二 林彥龍	指導老師： 陳典君 羅尹劭
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：溫室效應、Arduino、綠建築

摘要

本篇研究以 Arduino 連結感測器組裝「微型溫室」，可即時偵測溫室中的溫度與二氧化碳濃度，對於實驗觀測十分快速與便利。我們以自製水泥片模擬建築物材質，探討不同油漆塗料與不同植被對室內外降溫的效果。實驗發現，以水泥地而言，白漆中添加 30g 碳酸鈣對水泥地面的降溫效果最好；以建築物屋頂來說，白漆加 60g 碳酸鈣的室內降溫效果較好。進一步比較四種油漆添加物：碳酸鈣、碳酸鋇、硫酸鈣、硫酸鋇，又以碳酸鈣的室內降溫成效最佳。綠建築方面，相較於水泥對照組和蘚苔，藻類的減碳降溫效果顯著，是三者之中最適合的植被種類。另外，我們以 WEKA 軟體做出根據二氧化碳濃度預測溫度的模型，經測試驗證後，以 Additive Regression 得到的預測值最接近實際值，為較佳的預測方法。

壹、前言

夏天打球只是打五分鐘卻熱得汗流浹背，在教室都無法專心上課，即使風扇開到最強，也無法讓體溫降下來，身體整天濕濕黏黏的，令人煩躁。這讓我們想起七年級課堂中，老師曾播放關於全球暖化的影片，讓人印象深刻。影片中，地球被人類大肆破壞，森林被大量砍伐、極端天氣造成旱災或淹水、冰山融化造成海平面上升，許多低海拔國家難逃被海水淹沒的命運。

在新聞版面也常看到國際間討論全球暖化的問題，有一位瑞典少女格蕾塔·童貝里 (Greta Thunberg) 在 2018 年發起罷課活動(圖 1)，呼籲全球政府正視暖化問題，受到世界各國的矚目。曾有國家元首發表言論，說氣候變遷是假的(圖 2)，想藉此退出巴黎協定。為了確認全球暖化是否真實存在，我們找到美國太空總署 NASA 監測地球的數據，可以看到地球的溫度確實正在逐年上升(圖 3)。

溫度上升也造成生態浩劫，像是珊瑚礁白化、森林大火造成大量生物死亡，目前最新研究指出，蜜蜂也正遭遇嚴重的危機。通常蜂箱溫度大約 35°C，若上升到 42°C，二至三小時後，本來隱藏在雄蜂腹部內的「內陰莖」就會噴出體外而死亡(圖 4)。大家都知道，蜜蜂是農業中不可或缺的授粉者，如果蜜蜂都死了，大部分植物將無法授粉，人類農作物將大幅減少，反而害了人類。

全球暖化日益嚴重，比起幾十年前，平均氣溫上升了快兩度，如果沒有解決，海平面上升將會危害到許多沿海地區。所以我們想利用這次科展來研究較好的解決方法，守護我們的家園。

我們設計的實驗目的為：

- 一、利用 Arduino 連結感測器建立微型溫室
- 二、利用微型溫室探討不同油漆塗料對建築物的降溫成效
- 三、利用微型溫室探討綠建築的降溫減碳成效
- 四、利用 WEKA 軟體輔助預測升溫模型



圖 1：格蕾塔·童貝里發起的罷課活動



圖 2：有關元首言論的新聞畫面

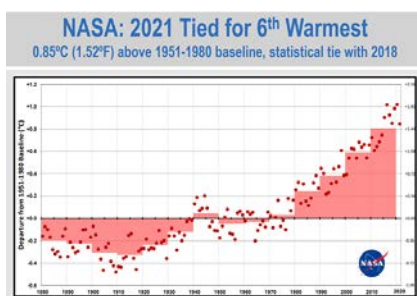


圖 3：NASA 監測地球氣溫的數據



圖 4：溫度過高導致雄蜂死亡情形

貳、研究器材及設備

一、自製「微型溫室」

- (一) 以底部直徑十公分、高十五公分的玻璃瓶來製作微型溫室。將瓶蓋打洞後，穿過一截橡皮管當作通道，方便感測器的線路進入玻璃瓶中(圖 5)。用針頭在瓶蓋上刺一個小洞，作為注入二氧化碳氣體的洞口，最後再用保麗龍膠和石蠟膜 (parafilm)來填補縫隙，膠帶貼住針孔，防止氣體漏出(圖 6)。
- (二) 將玻璃瓶連接 Arduino 控制板與溫度、二氧化碳感測器，用三腳架支撐瓶子，再以鎢絲燈泡模擬太陽光照射，即可完成微型溫室的組裝 (圖 7)。



圖 5：經橡皮管進入玻璃罐的感測器



圖 6：填補橡皮管和線材周圍的縫隙

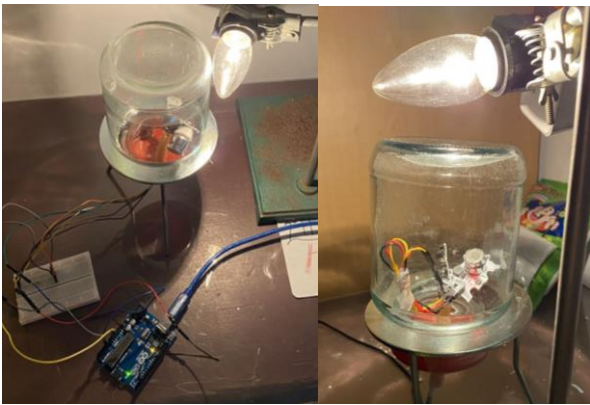


圖 7：「微型溫室」與 Arduino 感測器

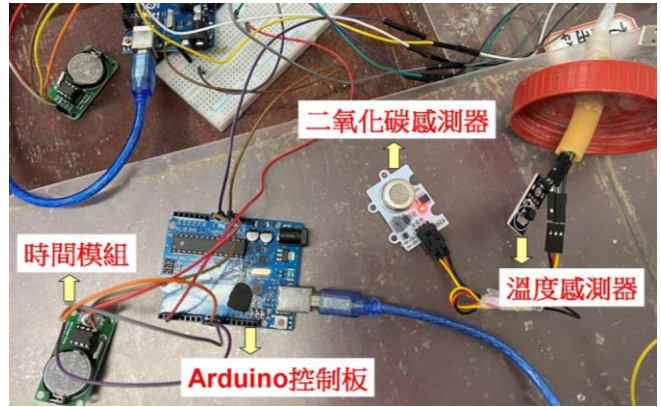


圖 8：Arduino UNO 控制板與感測器

二、溫度感測器與二氧化碳感測器

為了偵測微型溫室內的溫度和二氧化碳變化，我們選擇了 MG811(二氧化碳感測器)、DS13B20(溫度感測器)和 DS1302(時間模組)，連接 Arduino UNO 控制板，並撰寫電腦程式來驅動 Arduino，就可以連續偵測實驗過程中模型內的變化情形(圖 8)。

關於 Arduino 的電路配置與程式設計可分成兩部分，一部分是測溫度，另一部分是測二氧化碳，分述如下：

(一) 偵測溫度：

1. 電路配置：將溫度感測器、時間模組與 Arduino UNO 控制板以杜邦線和麵包板連接，如圖 9。

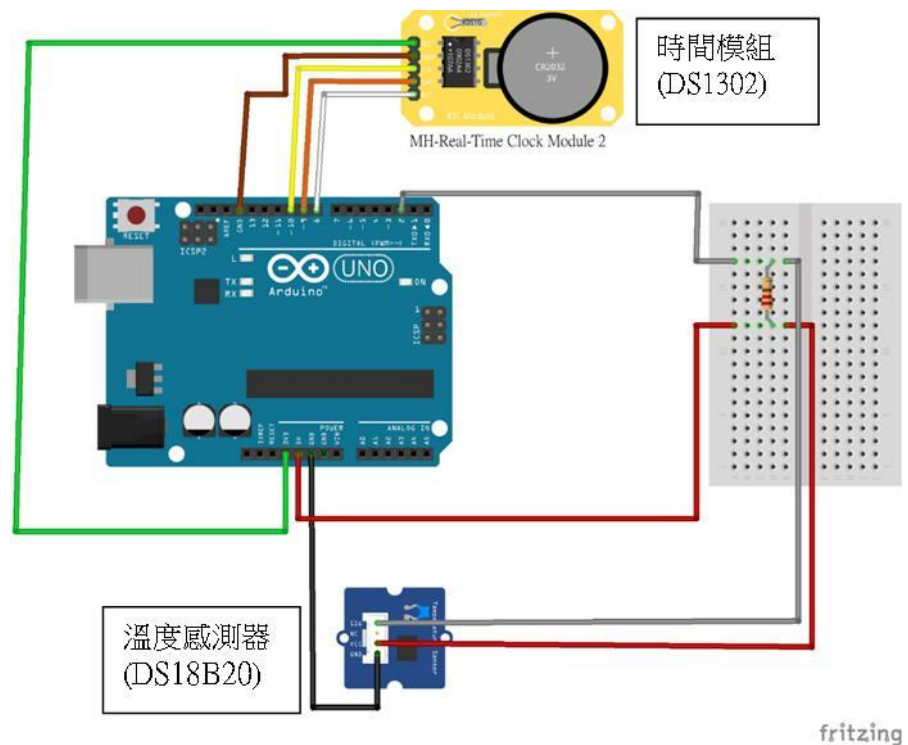


圖 9：偵測溫度時的電路配置圖 (利用 Fritzing 軟體繪製)

2. 程式碼的撰寫與說明：

```
#include <DS1302.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2
```

引入程式庫
標頭檔

```
namespace {
```

```
const int kCePin = 8;
const int kIoPin = 9;
const int kSclkPin = 10;
```

設定時間模組腳位

```
DS1302 rtc(kCePin, kIoPin, kSclkPin);
```

```
void printTime() {
```

```
Time t = rtc.time();
```

從芯片中獲取當前時間和日期

```
char buf[15];
```

建立字元陣列，用來放時間與日期

```
snprintf(buf, sizeof(buf), "%02d %02d %02d", t.hr, t.min, t.sec);
```

```
Serial.print(buf);
```

將時間與日期打印到序列埠

```
}
}
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
```

```
DallasTemperature DS18B20(&oneWire);
```

啟動溫度感測器

```
void setup(void) {
DS18B20.begin();
Serial.begin(9600);
```

設定Baud為9600bit/s

```
rtc.writeProtect(false);
rtc.halt(false);
```

是否防止寫入

是否停止計時

```
Time t(2021, 4, 28, 13, 10, 00, Time::kTuesday);
```

```
rtc.time(t);
```

```
}
```

在這個函式範圍內
放置初始化Arduino
開發板的程式 - 在
重複執行的程式
(loop())之前執行，
主要功能是将所有
Arduino 開發板的
pin腳設定，元件
設定，需要初始化的
部分設定等等。

```
void loop(void) {
```

```
float temperature;
```

溫度讀值帶小數，浮點數要用float

```
DS18B20.requestTemperatures();
temperature = DS18B20.getTempCByIndex(0);
```

```
printTime();
Serial.print(',');
Serial.println(temperature);
```

將讀取到的溫度打印到序列埠

```
delay(1000); 每隔1秒更新一次
```

```
}
```

設置時間和日期(年月
日時分秒星期幾)

在此放置你的Arduino
程式碼。這部份的程
式會一直重複的被執
行，直到Arduino 開
發板被關閉。

(二) 偵測二氧化碳：

1. 電路配置：將二氧化碳感測器、時間模組與 Arduino UNO 控制板以杜邦線和麵包板連接，如圖 10。

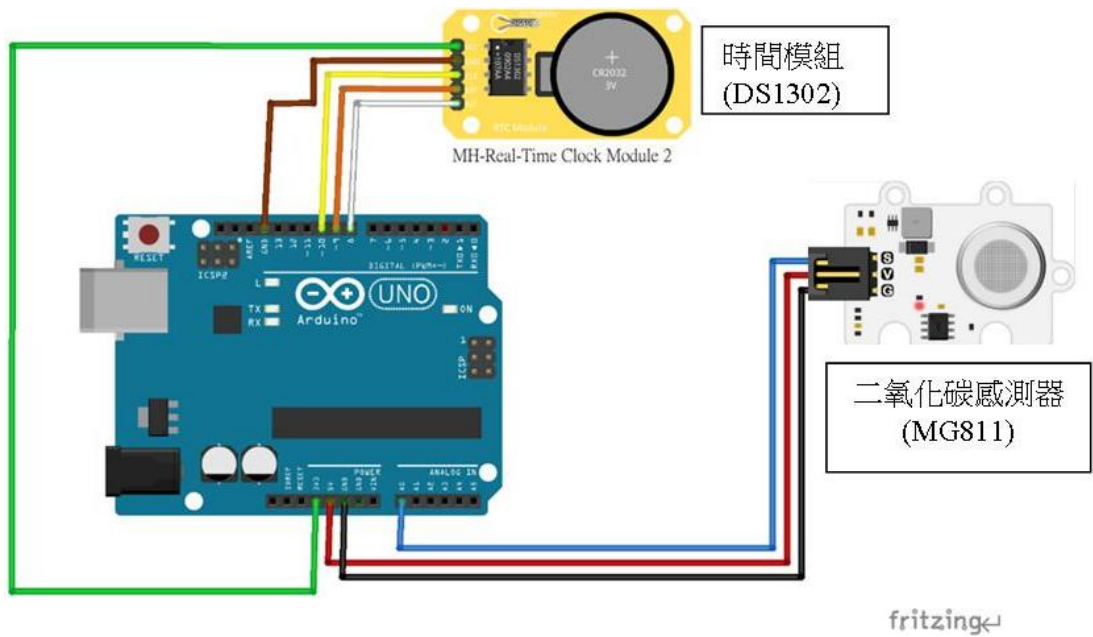


圖 10：偵測二氧化碳時的電路配置圖 (利用 Fritzing 軟體繪製)

2. 程式碼的撰寫與說明：

```
#include <Ds1302.h>
#include "CO2Sensor.h"
```

引入程式庫
標頭檔

```
namespace {
const int kCePin = 8;
const int kIoPin = 9;
const int kSclkPin = 10;

Ds1302 rtc(kCePin, kIoPin, kSclkPin);

void printTime() {
Time t = rtc.time();

char buf[15];

sprintf(buf, sizeof(buf), "%02d %02d %02d", t.hr, t.min, t.sec);
```

設定DS1302(此處註解上面
寫過這裡不再贅述)

```

Serial.print(buf);
}
}
void setup(){
rtc.writeProtect(false);
rtc.halt(false);
Time t(2021, 4, 28, 13, 10, 00, Time::kTuesday);
rtc.time(t);
}

```

設定DS1302(此處註解上面寫過這裡不再贅述)

```
void loop(){
```

```
Serial.println(analogRead(0));
```

將MG811讀取到的電壓
打印到序列埠

```
printTime();
Serial.print(',');
Serial.println(temperature);
```

印出「時間值」、「,」、「溫度值」

```
delay(1000);
```

每隔1秒更新一次

```
}
```

三、二氧化碳感測器 MG811 的校正方法

- (一) 事先將感測器接 9V 預熱 24 小時後，在室內無人處，讀取感測器回傳的電壓 60 秒，並使用 Python 自動寫入 Excel 中。
- (二) 將感測器放入空垃圾袋中央，由實驗人員在垃圾袋中持續呼氣，直到感測器回傳的電壓值穩定後，開始讀取感測器回傳的電壓 60 秒，並使用 Python 自動寫入 Excel 中。
- (三) 根據 CO₂ 濃度估計，設空曠處的 CO₂ 濃度為 400ppm、人類呼出的 CO₂ 濃度為 40000ppm，並算出 400 和 40000 的 log 值，如表 1。
- (四) 將表 1 中的 CO₂ 濃度 log 值做為 X 軸，感測器測得的電壓平均值做為 Y 軸，繪製出校正 log 圖，並可得到趨勢線公式(圖 11)。即可利用趨勢線公式，把之後實驗測得的輸出電壓代入公式裡，推算未知的 CO₂ 濃度。

表 1：CO₂濃度換算成 log 值的結果

CO ₂ 濃度(ppm)	CO ₂ 濃度的 log 值
400	2.602059991
40000	4.602059991

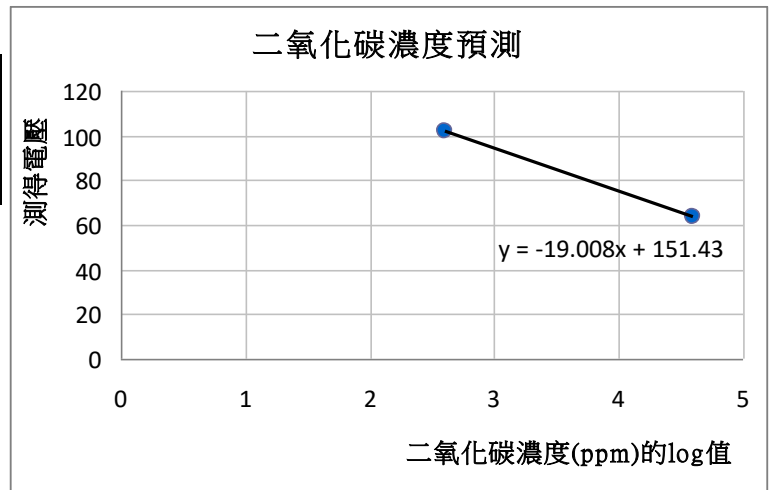


圖 11：二氧化碳濃度校正 log 圖

四、二氧化碳氣體的製備與抽取方式

(一) 排水集氣法製備二氧化碳 (圖 12)

1. 以大塑膠盆當水槽，裝水至半滿。將廣口瓶裝滿水，確保瓶內沒有氣泡後，以玻璃片蓋住瓶口，倒放入水槽備用。
2. 在吸濾瓶裡加入碳酸鈣粉末，裝上橡皮塞和薊頭漏斗，再加入少許的水，使薊頭漏斗底部沒入水面下。吸取稀鹽酸透過薊頭漏斗慢慢加入吸濾瓶中，將橡皮管塞入廣口瓶中，收集產生的二氧化碳。因第一瓶氣體純度有疑慮，所以會先排放掉，後續就可收集到較高純度的二氧化碳。

(二) 抽取氣體的方式：

1. 塑膠針筒前端接上三向閥和橡皮管，將橡皮管放入集氣瓶中抽取定量的二氧化碳後，再轉動三向閥的 T 字開關，將氣體密封在針筒內。注意：抽取氣體時，瓶口需保持在水面下，避免外界氣體混入瓶中(圖 13)。
2. 注射氣體時，將針筒的三向閥拔除並以手指堵住前端，裝上針頭後即可將氣體注入溫室中(圖 14)。注射完畢再將瓶蓋上的針孔用膠帶貼住密封。



圖 12：排水集氣法製造二氧化碳



圖 13：抽取二氧化碳氣體



圖 14：氣體注入模型

五、其他實驗器材與藥品，詳列於下方表格中 (表 2)。

表 2：實驗器材與藥品總表

燒杯	吸濾瓶	廣口瓶	薊頭漏斗	橡皮塞	塑膠盆	玻璃片
橡皮管	注射針筒	三向閥	滴管	刮勺	研鉢和杵	玻璃棒
培養皿	量筒	濾紙	玻璃罐	三腳架	鐵架	燈泡
鋁箔紙	保鮮膜	石臘膜	油漆刷	秤量紙	筆電	顯微鏡
電子天平	保麗龍	水泥粉	碳酸鈣	碳酸鋇	硫酸鈣	硫酸鋇
模型紙板	鹽酸	手套	吹風機	麵包板	4.7 k 電阻	杜邦線
白色水性水泥漆(虹牌)	ArduinoUNO 開發板	溫度感測器 DS13B20		二氧化碳感測器 MG811		時間模組 DS1302

參、研究過程與方法

一、利用 Arduino 連結感測器建立微型溫室

在自製的微型溫室中，分別注入 25mL 與 50mL 的二氧化碳氣體，開燈照光 35 分鐘後，再關燈 35 分鐘，以 Arduino 溫度感測器連續偵測溫室內的升溫與降溫趨勢，藉此測試自製微型溫室的效果，並找出合適的氣體注射量 (圖 15)。

二、利用微型溫室探討不同油漆塗料對建築物的降溫成效

(一) 製作水泥片模擬建築物材質

用鋁箔紙照著培養皿捏出形狀，在中間捏出一道分隔，再將底面壓至平整，即可完成鋁箔紙模具 (圖 16)。以水對水泥粉 1：2 的比例調出水泥，倒入鋁箔紙模具中，等待一天凝固之後就可以取出 (圖 17)。

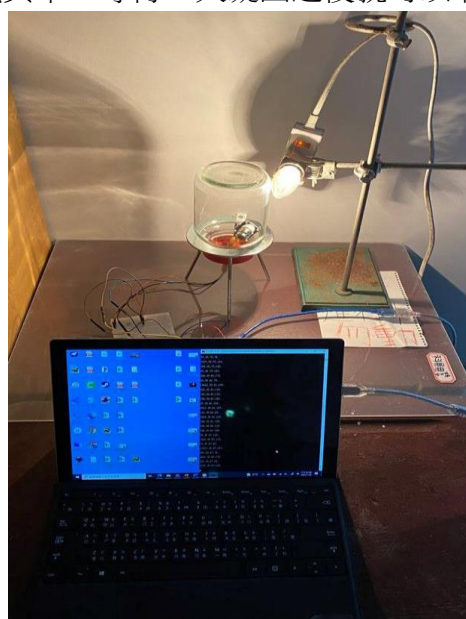


圖 15：微型溫室連接 Arduino



圖 16：鋁箔紙模具



圖 17：脫模後未塗漆的水泥塊

(二) 調配油漆塗料

1. 白漆 (不加料)：市售的白色水性水泥漆，依使用說明必須 10~15%稀釋，故以 10 mL 蒸餾水稀釋到最後總體積為 73 mL 的油漆水溶液。
2. 白漆 (加料)：在 10 mL 蒸餾水中，分別加入各種質量的油漆顆粒，表 3，攪拌使顆粒懸浮在水中，再以白漆加到總體積 73 mL，攪拌均勻即完成白漆塗料的調配。

表 3：各種油漆顆粒的種類與質量

油漆顆粒種類	油漆顆粒質量 (g)
碳酸鈣	10
	30
	60
碳酸鋇	30
硫酸鈣	30
硫酸鋇	30

(三) 將水泥片塗上不同的油漆塗料

將調製的塗料用油漆刷均勻地塗上水泥片(圖 18)，並將不同塗料的水泥片放在紙上標示清楚，並放置一天等待乾燥(圖 19)。



圖 18：塗油漆的過程

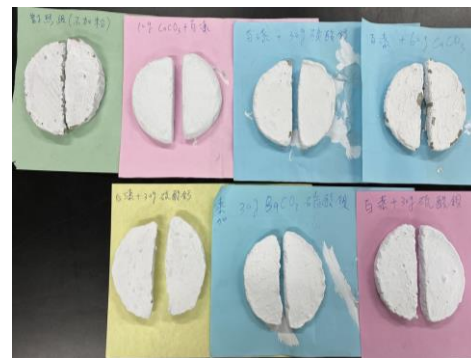


圖 19：塗完油漆的水泥片

(四) 依不同實驗設計需求，組裝微型溫室

1. 模擬「水泥地面」照光後的升降溫趨勢

(1) 微型溫室的組裝：

將塗好油漆的水泥片和 Arduino 溫度感測器放入微型溫室內，鎖上玻璃瓶蓋後再以石臘膜密封。此時水泥片在微型溫室的底部，感測器在水泥片上方，模擬水泥地面的情況，如圖 20。

(2) 實驗流程：

以白漆不加料的水泥片為對照組，有加料的白漆水泥片為實驗組，以針筒分別注入 50mL 的二氧化碳氣體，開燈照光 55 分鐘，再關燈 55 分鐘，以 Arduino 連續偵測，比較漆加 10g 碳酸鈣、漆加 30g 碳酸鈣、漆加 60g 碳酸鈣三者在定量二氧化碳下，照光後的升溫與降溫趨勢。對照組與實驗組的裝置之間以保麗龍做阻隔，避免互相影響，如圖 21。

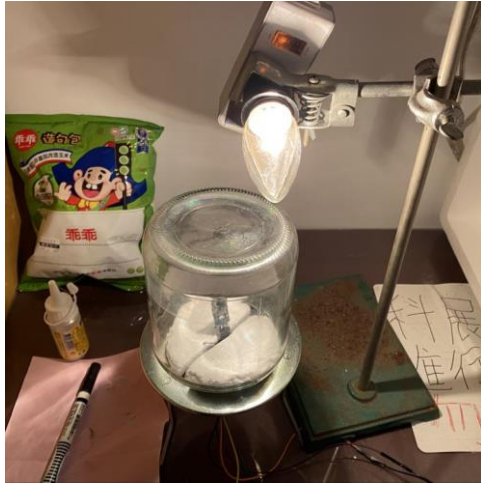


圖 20：模擬「水泥地面」的微型溫室

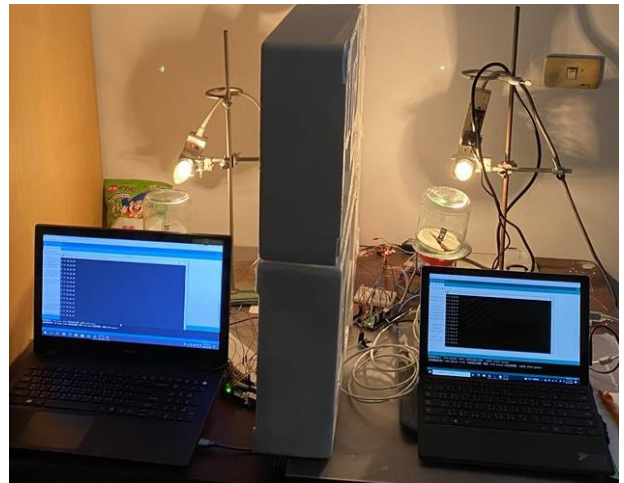


圖 21：對照組(右邊)與實驗組(左邊)

2. 模擬「建築物屋頂」照光後的升降溫趨勢

(1) 微型溫室組裝：

將塗好油漆的水泥片和 Arduino 溫度感測器放入微型溫室內，以硬紙板做支架，將水泥片在溫室內架高，模擬建築物屋頂，鎖上玻璃瓶蓋後再以石臘膜密封，此時感測器在水泥片下方，如圖 22。

(2) 實驗流程：

以白漆不加料的水泥片為對照組，有加料的白漆水泥片為實驗組，以針筒分別注入 50mL 的二氧化碳氣體，開燈照光 55 分鐘，再關燈 55 分鐘，以 Arduino 連續偵測，比較漆加 10g 碳酸鈣、漆加 30g 碳酸鈣、漆加 60g 碳酸鈣三者定量二氧化碳下，照光後的升溫與降溫趨勢。對照組與實驗組的裝置之間以保麗龍做阻隔，避免互相影響，如圖 23。



圖 22：模擬「建築物屋頂」的微型溫室模型

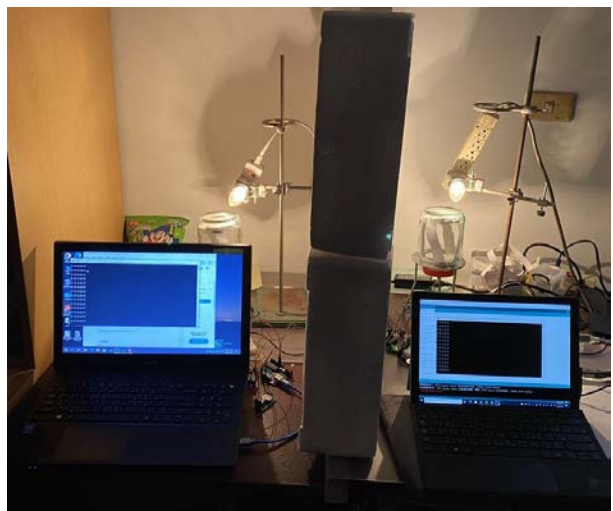


圖 23：對照組(右邊)與實驗組(左邊)

3. 比較不同油漆添加物的效果

(1) 微型溫室組裝：

將塗好油漆的水泥片和 Arduino 溫度感測器放入微型溫室內，以硬紙板做支架，將水泥片在溫室內架高，模擬建築物屋頂，鎖上玻璃瓶蓋後再以石臘膜密封，此時感測器在水泥片下方，如圖 22。

(2) 實驗流程：

以白漆不加料的水泥片為對照組，有加料的白漆水泥片為實驗組，以針筒分別注入 50mL 的二氧化碳氣體，開燈照光 55 分鐘，再關燈 55 分鐘，以 Arduino 連續偵測，比較漆加 30g 碳酸鈣、漆加 30g 碳酸鋇、漆加 30g 硫酸鈣、漆加 30g 硫酸鋇四者在定量二氧化碳下，照光後的升溫與降溫趨勢。對照組與實驗組的裝置之間同樣以保麗龍做阻隔，避免互相影響。

三、利用微型溫室探討綠建築的降溫減碳成效

(一) 在自製水泥片上，放上不同的植被種類，模擬綠建築

1. 藻類

(1) 藻類的採集與過濾：

採集北屯兒童公園生態池富含藻類的池水，經複式顯微鏡觀察比對後，確定為團藻（圖 24）。將池水滴到濾紙上進行過濾，使藻類累積在濾紙上（圖 25），再用吹風機將多餘的水分稍微吹乾（圖 26）。

(2) 微型溫室組裝：

將此藻類濾紙鋪在水泥片上，放入微型溫室中，以硬紙板架高水泥片，模擬綠建築屋頂，並放入 Arduino 二氧化碳感測器與溫度感測器，鎖上玻璃瓶蓋後再以石臘膜密封，此時感測器在水泥片下方（圖 27）。

(3) 實驗流程：

以無藻類的濕潤濾紙水泥片為對照組，有藻類的濕潤濾紙水泥片為實驗組，以針筒分別注入 50mL 的二氧化碳氣體，開燈照光 55 分鐘，再關燈 55 分鐘，以 Arduino 連續偵測，比較兩者在定量二氧化碳下的減碳與升降溫趨勢。對照組與實驗組的裝置之間同樣以保麗龍做阻隔，避免互相影響。

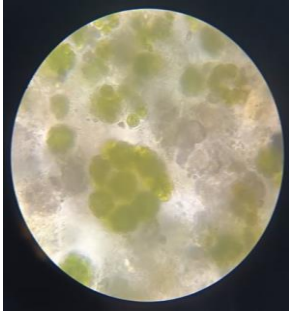


圖 24：複式顯微鏡下的團藻(放大倍率 600X)



圖 25：藻類過濾過程



圖 26：吹風機吹乾多餘水分



圖 27：「藻類綠建築」的微型溫室模型

2. 蘚苔

(1) 蘚苔的採集：

採集校園盆栽中的蘚苔，經解剖顯微鏡觀察比對後，確定為土馬駝(圖 28)。用培養皿在要採集的蘚苔上先壓一個圓形，再用刮勺照著圓形畫一圈並將蘚苔拿起，把下方多餘的土刮掉後，放在濾紙上再鋪在水泥片上(圖 29)。(此處放濾紙是為了盡量與藻類有相近的實驗條件)

(2) 微型溫室組裝：

將有蘚苔的水泥片放入微型溫室中，以硬紙板架高水泥片，模擬綠建築屋頂(圖 30)，並放入 Arduino 二氧化碳感測器與溫度感測器，鎖上玻璃瓶蓋後再以石臘膜密封，此時感測器在水泥片下方(圖 31)。

(3) 實驗流程：

以無蘚苔的濕潤濾紙水泥片為對照組，有蘚苔的濕潤濾紙水泥片為實驗組，以針筒分別注入 50mL 的二氧化碳氣體，開燈照光 55 分鐘，再關燈 55 分鐘，以 Arduino 連續偵測，比較兩者在定量二氧化碳下的減碳與升降溫趨勢。對照組與實驗組的裝置之間同樣以保麗龍做阻隔，避免互相影響。

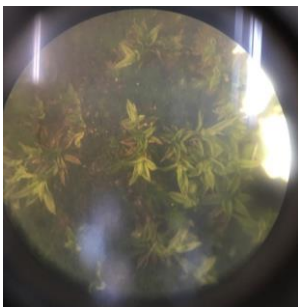


圖 28：解剖顯微鏡下的土馬駝(放大倍率為 20X)



圖 29：放在水泥片上的蘚苔



圖 30：「蘚苔綠建築」的微型溫室模型



圖 31：模型內的感測器與瓶口密封

四、利用 WEKA 軟體輔助預測升溫模型

(一) 收集數據

將校正後的二氧化碳與溫度感測器，放入微型溫室內(圖 15)，分別在微型溫室內注入 35mL、40 mL、45mL、50mL、60 mL 的 CO₂ 氣體。接著關閉室內照明燈光，去除環境光源影響，並將模擬太陽的燈泡打開，接著利用溫室內的感測器收集 CO₂ 與溫度的數據。待溫度上升到最高溫，無明顯變化後，即可將燈泡關閉，儲存數據並將其輸入 WEKA 軟體中進行後續模型分析。

(二) 數據處理

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	時間	溫度	△T	△T最大值	時間	電壓	濃度(ppm)的log值	二氧化碳濃度(ppm)	max CO2 ppm	1hr CO2 ppm	mode CO2
2	13 10	24.2	0	4	13 10 00	487	3.938125145	8672.12	20159.95	19108.57	19627.22
3	13 10	24.2	0		13 10 01	487	3.938125145	8672.12			
4	13 10	24.3	0.06		13 10 02	488	3.932309839	8556.77			
5	13 10	24.3	0.06		13 10 03	487	3.938125145	8672.12			
6	13 10	24.3	0.06		13 10 04	487	3.938125145	8672.12			
7	13 10	24.3	0.12		13 10 05	488	3.932309839	8556.77			
8	13 10	24.3	0.12		13 10 06	487	3.938125145	8672.12			

圖 32：整理感測器數據 (圖中為 excel 數據的部分頁面)

如圖 32，我們利用感測器收集了溫度、二氧化碳電壓和兩者相對應的時間。分析溫度數據可以看到，瓶內 CO₂ 經過照燈影響，吸收紅外線導致溫度上升。分析 CO₂ 的數值則可以發現，一開始的時候 CO₂ 往低濃度的方向擴散，而實驗過程中模型的封口處氣體有逸散的情形，使得 CO₂ 濃度上下起伏。

接著，我們找出可以送入軟體中分析的屬性(Attribute)，有△T、CO₂ 濃度、CO₂ 濃度計算值、CO₂ 濃度最大值、一小時後 CO₂ 濃度、CO₂ 濃度眾數共六個項目，分別說明如下。

1. △T：扣除初始溫度得到的溫差，得知 CO₂ 濃度導致溫度上升的幅度。
2. CO₂ 濃度：二氧化碳感測器所測得的電壓數據，經換算可得 CO₂ 濃度。
3. CO₂ 濃度最大值：將感測器電壓換算成 CO₂ 濃度，再透過 Excel 函數找出其中最大值。
4. 一小時後 CO₂ 濃度：實驗剛好進行一小時後的 CO₂ 濃度。
5. CO₂ 濃度眾數：每次實驗中測出最多次的 CO₂ 濃度數字。
6. CO₂ 濃度計算值：根據注入 CO₂ 毫升數，除以玻璃瓶體積，計算得到的濃度值。

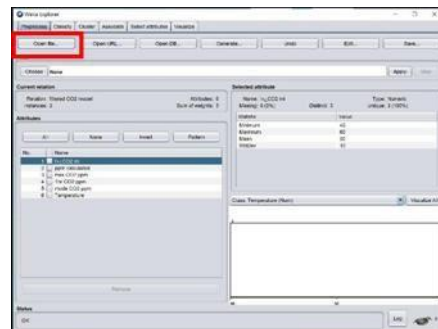
我們在實驗中分別注入了 35mL、40mL、45mL、50mL、60mL 的二氧化碳，並列出五組中各屬性的數據，發現 35mL、45mL 的數據誤差過大，故不採用這兩個組別的數據。最後，整理好以上數據並儲存成 csv 表格檔，準備輸入軟體製作二氧化碳升溫模型。

(三) 使用 WEKA 軟體製作二氧化碳升溫模型

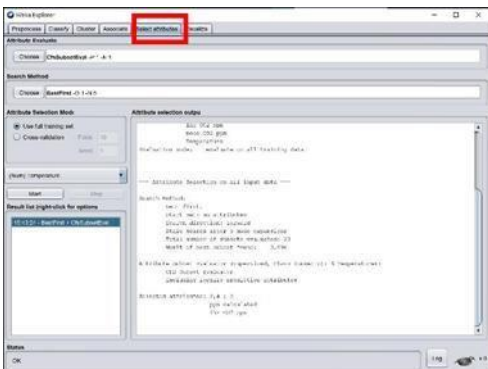
- 軟體用途簡介：WEKA 的全名是懷卡托智慧型分析環境（Waikato Environment for Knowledge Analysis），主要開發者來自紐西蘭，weka 同時也是紐西蘭的一種鳥名。WEKA 是一個數據分析工作平台，具有互動式界面，供全球使用者免費使用，集合了大量能承擔資料探勘(data-mining)任務的機器學習算法，包括對數據進行預處理、分類、迴歸、聚類、關聯規則的分析，以及將分析結果以圖表方式視覺化呈現。
- 製作二氧化碳升溫模型，軟體操作步驟如下：



(1) 按下“Explorer”進入介面



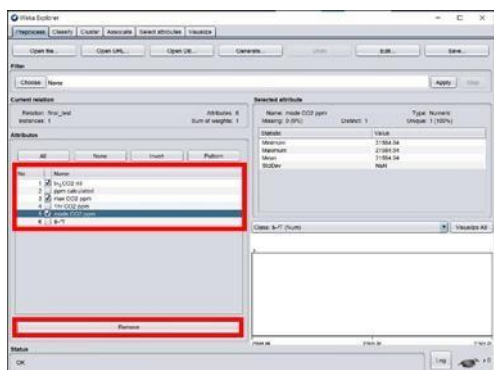
(2) “Open file”將檔案送入系統，下方出現檔案中的屬性(Attribute)，包含欲預測的溫差共六個屬性。點選特定屬性，右上方會出現詳細統計資料(最小值、最大值、平均、標準差)



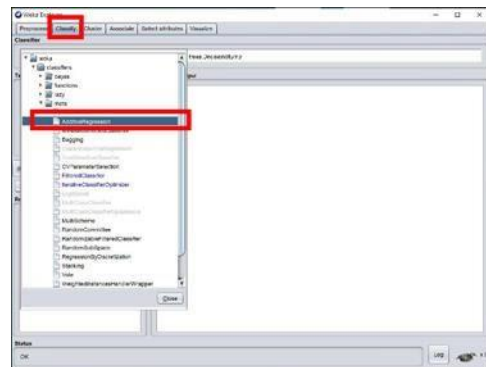
(3) 按下“Select attributes”選擇屬性，找出適合預測的屬性



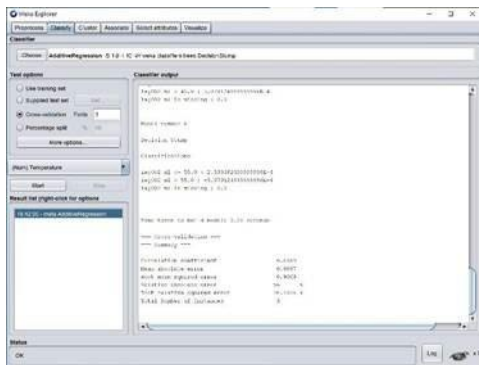
(4) 軟體預測屬性與結果是否高度相關，根據軟體顯示結果，「CO₂ 濃度計算值」、「一小時後 CO₂ 濃度」為較相關的屬性



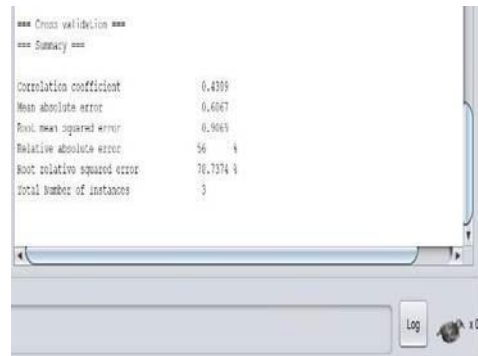
(5) 除了較相關的屬性「CO₂ 濃度計算值」、「一小時後 CO₂ 濃度」外，刪掉其他較不相關的屬性



(6) 按下“Classify”，選取分析方法“Additive Regression”

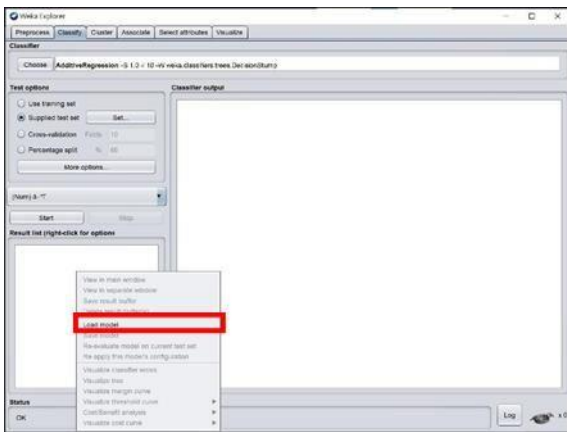


- (7) 設定為 3-fold 的交叉驗證，將數據集分成 3 份，輪流將其中 2 份作為訓練數據，1 份作為測試數據。
- (8) 按下 Start，進行試驗
- (9) 得出分析模型結果如左

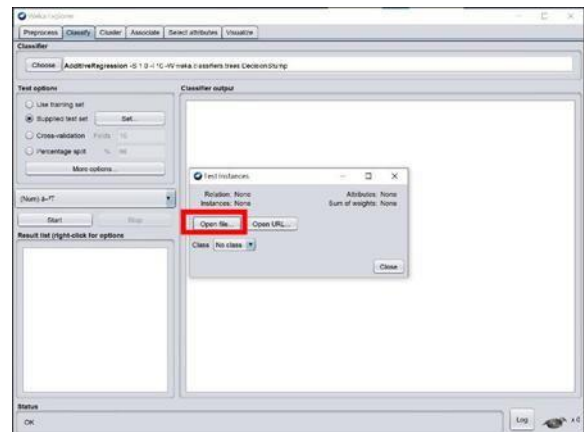


- (10) 根據軟體計算出模型數據，可分析不同模型的結果
- (11) 左欄按右鍵，儲存該模型

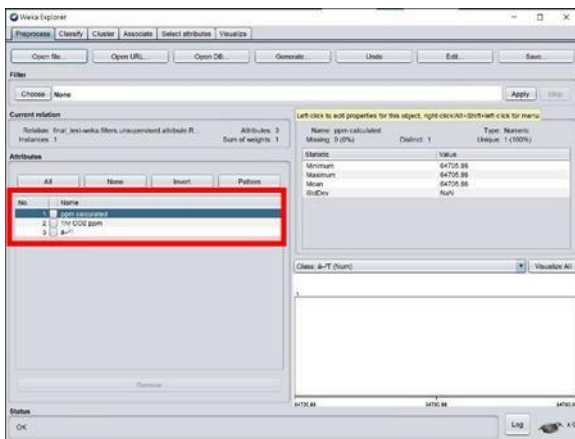
3. 測試模型預測效果



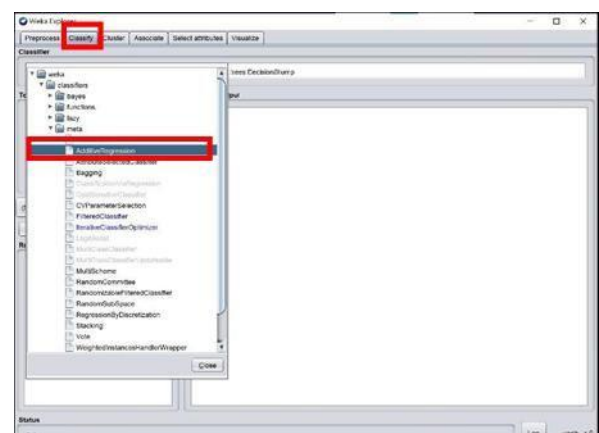
- (1) 按右鍵，選取“Load model”



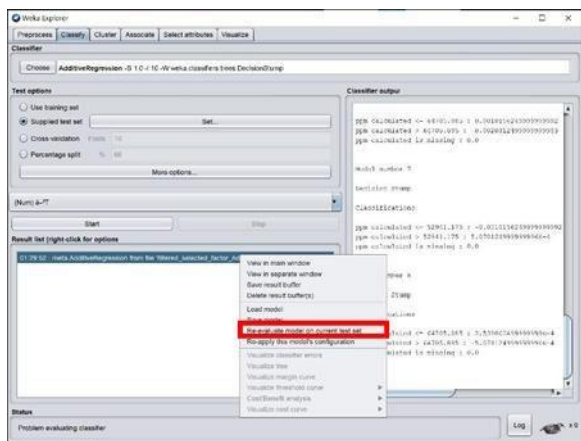
- (2) 按下“Open file”，選取欲測驗的數據檔



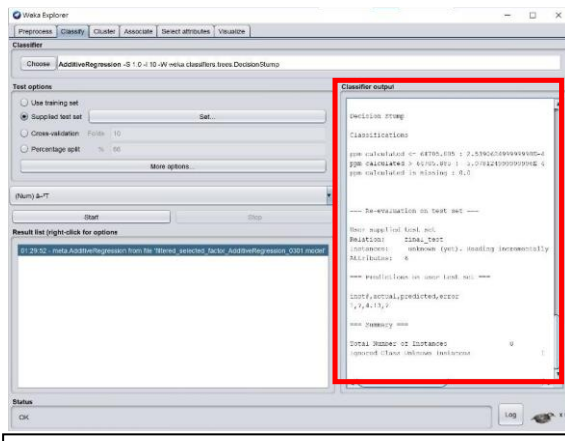
- (3) 除了較相關的屬性「CO₂ 濃度計算值」、「一小時後 CO₂ 濃度」外，刪掉其他較不相關的屬性



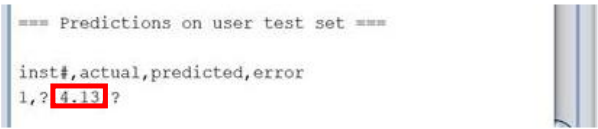
- (4) 按下“Classify”，選取分析方法“Additive Regression”



(5)點選模型，按右鍵選取
“Re-evaluate model on current test set”



(6)右方欄位出現模型預測值



(7)預測值為 4.13

肆、研究結果與討論

一、利用 Arduino 連結感測器建立微型溫室

- (一) 收集 Arduino 時間模組與溫度感測器的數據，將每秒測得的溫度與起始溫度相減，利用所得的溫度差來觀測模型內的溫度變化，以 ΔT 表示。以實驗時間(秒)為 X 軸，溫度變化(ΔT)為 Y 軸，繪製關係圖，如圖 33。
- (二) 從圖 33 可看出，Arduino 連續偵測溫度變化的效果，可將微型溫室內照光後升溫、關燈後降溫的趨勢完整的記錄下來，有利於實驗的觀測。
- (三) 比較注入 25 mL 與 50 mL 二氧化碳的結果發現，50 mL 二氧化碳的溫度變化趨勢較顯著而穩定，因此後續的油漆與綠建築實驗都以 50 mL 的氣體量來操作。

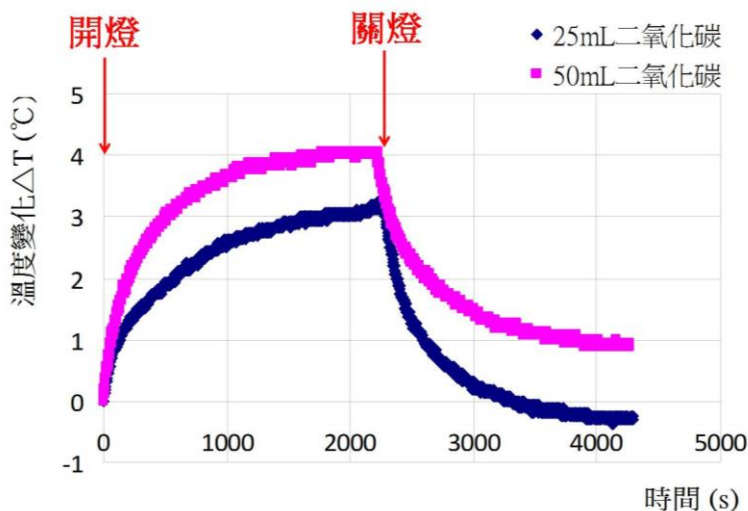


圖 33：
微型溫室內分別注入 25mL、50mL 二氧化碳的升溫與降溫趨勢

二、利用微型溫室探討不同油漆塗料對建築物的降溫成效

(一) 實驗結果的數據分析方式說明

根據物質的比熱特性，升溫較慢的材質，降溫也會比較慢，因此，可藉由分析溫室照光後的升溫情況，來評估整體的降溫成效。

我們將 Arduino 溫度感測器與時間模組收集到的數據經過分析後，繪製成柱狀圖，並以「升溫 ΔT 、升溫比」來說明實驗結果，以下針對這些名詞做說明：

1. 升溫 ΔT ：微型溫室照光之後，溫度升到最高點時與起始溫度的溫度差。
2. 升溫比：代表實驗組升溫幅度，扣除對照組升溫幅度，得到實驗組和對照組升溫的溫差，再除以對照組本身的升溫幅度，即可得知溫差占對照組升溫的比例。因此升溫比的數值越小，代表降溫效果最佳。

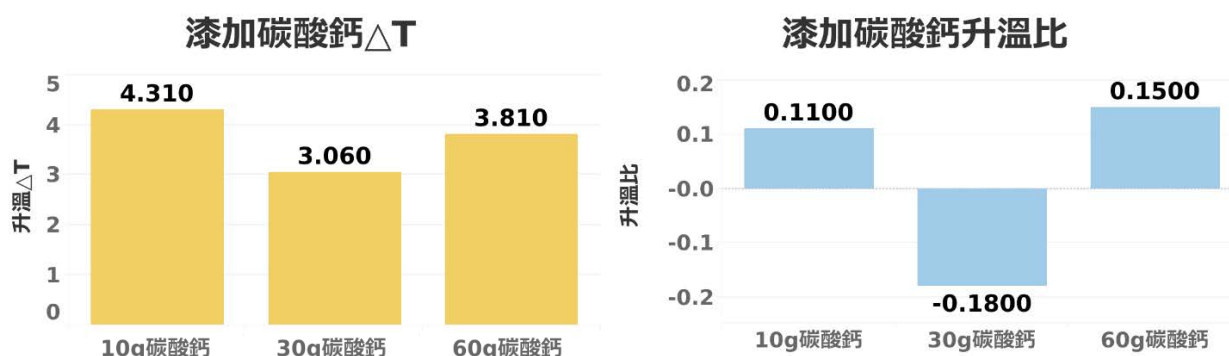
算式如下：

$$\text{升溫比} = \frac{(\text{實驗組升溫}\Delta T - \text{對照組升溫}\Delta T)}{\text{對照組升溫}\Delta T}$$

(二) 模擬「水泥地面」照光後的升溫趨勢

1. 升溫 ΔT ：結果如圖 34，從柱狀圖上的數字標示可看出每個實驗組的升溫幅度。升溫幅度最大的是漆加 10g 碳酸鈣，介於中間的是漆加 60g 碳酸鈣，最小的是漆加 30g 碳酸鈣。
2. 升溫比：結果如圖 35，升溫比最大的是漆加 60g 碳酸鈣，介於中間的是漆加 10g 碳酸鈣，最小的則是漆加 30g 碳酸鈣。
3. 結果討論：

此實驗比較了在白漆中加入不同克數的碳酸鈣，是否增加水泥片的降溫效果。由以上結果可知，白漆加 30g 碳酸鈣的升溫 ΔT 及升溫比都最小，因此，在模擬水泥地面的部分是白漆加 30g 碳酸鈣的降溫效果最佳。



(左)圖 34：微型溫室模擬「水泥地面」照光後的升溫 ΔT 結果柱狀圖

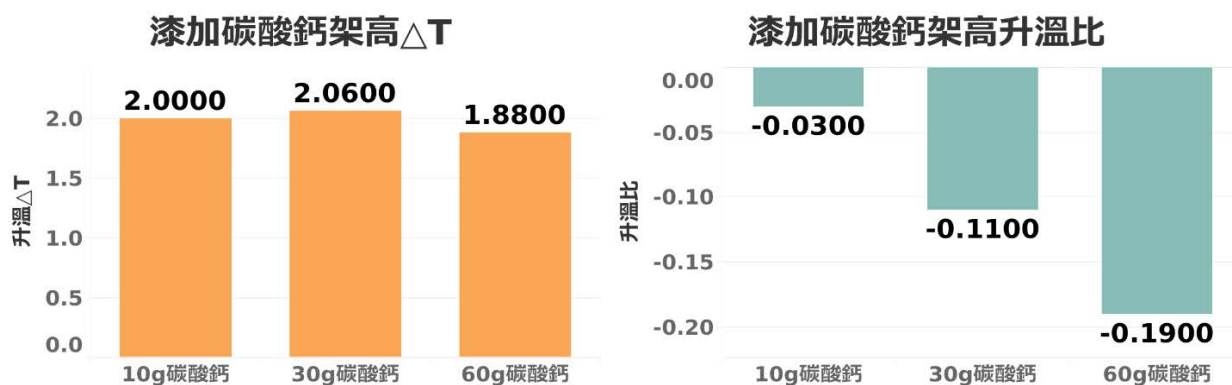
(右)圖 35：微型溫室模擬「水泥地面」照光後的升溫比結果柱狀圖

(三) 模擬「建築物屋頂」照光後的升溫趨勢

1. 升溫 ΔT ：結果如圖 36，從柱狀圖上的數字標示可看出每個實驗組的升溫幅度。升溫幅度最大的是漆加 30g 碳酸鈣，介於中間的是漆加 10g 碳酸鈣，最小的是漆加 60g 碳酸鈣。
2. 升溫比：結果如圖 37，升溫比最大的是漆加 10g 碳酸鈣，介於中間的是漆加 30g 碳酸鈣，最小的是漆加 60g 碳酸鈣。
3. 結果討論：

此實驗比較了在白漆中加入不同克數的碳酸鈣，塗在做為屋頂的水泥片上，對室內是否有降溫效果。由以上結果可知，白漆加 60g 碳酸鈣升溫 ΔT 最小，且從升溫比來看，白漆加 60g 碳酸鈣升溫比數值也是最小。因此，作為屋頂塗漆，白漆加 60g 碳酸鈣的降溫效果最佳。

但是考量白漆加 60g 碳酸鈣在升溫比中的效果，與 30g 碳酸鈣相去不遠。且在實驗操作上，白漆加 60g 碳酸鈣過於濃稠，不易調製，再加上塗在水泥片上風乾後，有嚴重龜裂現象，應用不易。因此，在接下來的實驗中，皆以 30g 做為油漆添加物的劑量



(左)圖 36：微型溫室模擬「建築物屋頂」照光後的升溫 ΔT 結果柱狀圖

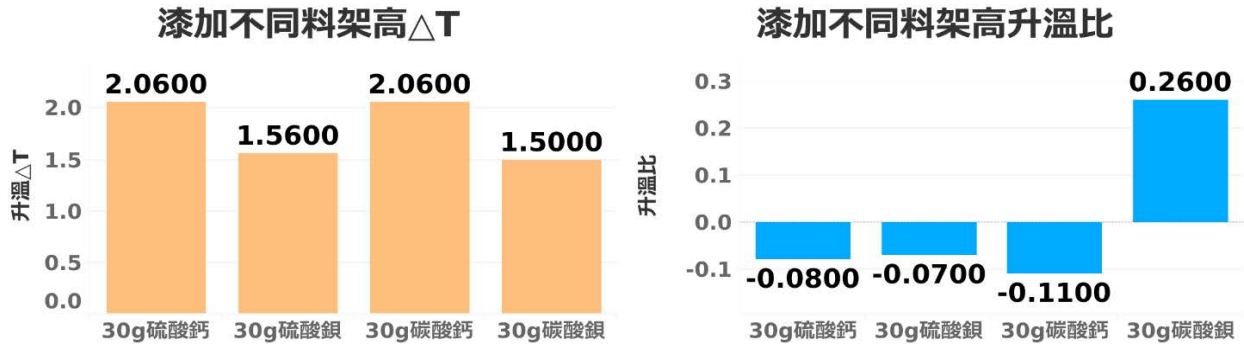
(右)圖 37：微型溫室模擬「建築物屋頂」照光後的升溫比結果柱狀圖

(四) 比較不同油漆添加物的效果

1. 升溫 ΔT ：結果如圖 38，從柱狀圖上的數字標示可看出每個實驗組的升溫幅度。升溫幅度由大到小依序為：
漆加 30g 碳酸鈣=漆加 30g 硫酸鈣>漆加 30g 硫酸鋇>漆加 30g 碳酸鋇。
2. 升溫比：結果如圖 39，升溫比由大到小的依序為：
漆加 30g 碳酸鋇>漆加 30g 硫酸鋇>漆加 30g 硫酸鈣>漆加 30g 碳酸鈣。

3. 結果討論：

此實驗比較了在白漆中加入不同化學物質，塗在做為屋頂的水泥片上，對室內是否有降溫效果。由以上結果可知，漆加碳酸鋇升溫 ΔT 最少，而從升溫比來看，漆加碳酸鈣的升溫比數值較小。因此，作為屋頂塗漆，白漆加碳酸鈣的降溫效果最佳。



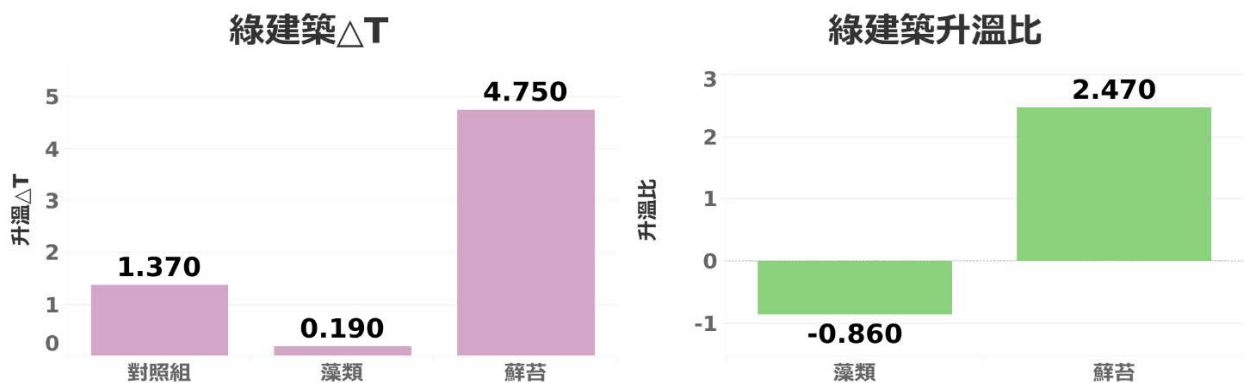
(左)圖 38：微型溫室模擬「不同塗料的屋頂」照光後的升溫 ΔT 結果柱狀圖

(右)圖 39：微型溫室模擬「不同塗料的屋頂」照光後的升溫比結果柱狀圖

三、利用微型溫室探討綠建築的降溫減碳成效

(一) 升溫趨勢分析：

1. 升溫 ΔT ：結果如圖 40，從柱狀圖上的數字標示可看出每個實驗組的升溫幅度。升溫幅度最大的是蘚苔，對照組介於中間，最小的是藻類。
2. 升溫比：結果如圖 41，升溫比最大的是蘚苔，最小的是藻類。



(左)圖 40：微型溫室模擬「綠建築屋頂」照光後的升溫 ΔT 結果柱狀圖

(右)圖 41：微型溫室模擬「綠建築屋頂」照光後的升溫比結果柱狀圖

(二) 減碳效果分析：

收集 Arduino 二氧化碳感測器與時間模組的數據，將每秒測得的二氧化碳濃度與起始濃度相減，利用所得的濃度差來觀測模型內的二氧化碳濃度變化

量。以實驗時間(秒)為 X 軸，二氧化碳濃度變化量(ppm)為 Y 軸，繪製關係圖(圖 42)。由圖中趨勢可觀察到，藻類一氧化二氮濃度下降量最多，蘚苔次之，對

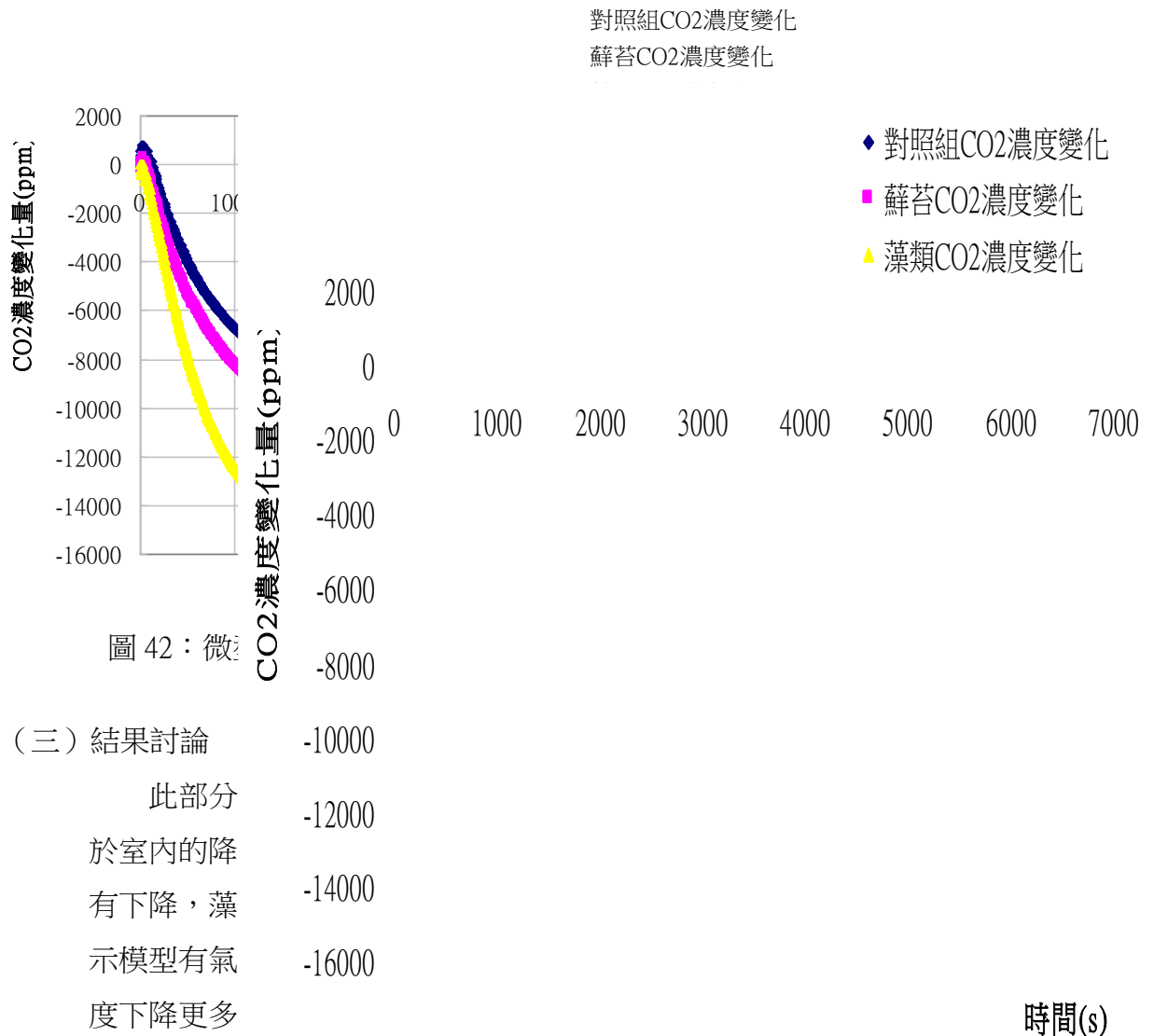


圖 42：微

(三) 結果討論

此部分於室內的降有下降，藻示模型有氣度下降更多

從升溫 ΔT 的數據中，覆蓋藻類的組別升溫幅度最少。而升溫比也以覆蓋藻類的組別數值最小。因此可推測，水泥塊上覆蓋藻類的降溫效果最佳。

綜合以上綠建築數據可知，藻類讓微型溫室中的 CO_2 濃度下降最多，升溫比也最小。因此，本次綠建築實驗中藻類具有最好的減碳、降溫效果，是最佳的植被選擇。

四、利用 WEKA 軟體輔助預測升溫模型

(一) 模型數據

1. 套用方法：我們將數據套入 WEKA 軟體分析，嘗試使用軟體中數十種方法，發現分析最好的方法有 Additive Regression、KStar、Gaussian Processes、Multilayer Perceptron，四種方法在各指標的表現如表 4。

量。以實驗時間(秒)為 X 軸，二氧化碳濃度變化量(ppm)為 Y 軸，繪製關係圖(圖 42)。由圖中趨勢可觀察到，藻類二氧化碳濃度下降量最多，蘚苔次之，對照組二氧化碳濃度下降量最少。

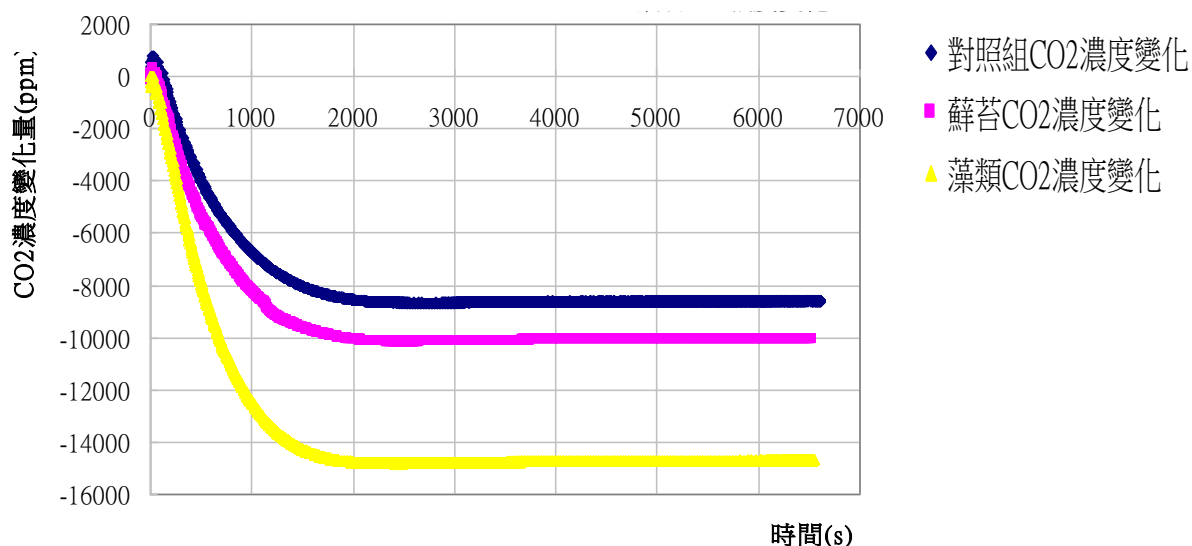


圖 42：微型溫室模擬「綠建築屋頂」照光後的 CO₂ 濃度變化量

(三) 結果討論

此部分的實驗比較了在做為屋頂的水泥片上覆蓋不同植被，其減碳以及對於室內的降溫效果。首先由微型溫室內 CO₂ 濃度變化可知，三組的 CO₂ 濃度皆有下降，藻類 CO₂ 濃度下降最多，蘚苔次之。雖然對照組的 CO₂ 濃度下降則顯示模型有氣體逸散的情形，但與對照組做比較，其他覆蓋有植被的組別 CO₂ 濃度下降更多，表示覆蓋不同植被有吸收並減少 CO₂ 的效果。

從升溫 ΔT 的數據中，覆蓋藻類的組別升溫幅度最少。而升溫比也以覆蓋藻類的組別數值最小。因此可推測，水泥塊上覆蓋藻類的降溫效果最佳。

綜合以上綠建築數據可知，藻類讓微型溫室中的 CO₂ 濃度下降最多，升溫比也最小。因此，本次綠建築實驗中藻類具有最好的減碳、降溫效果，是最佳的植被選擇。

四、利用 WEKA 軟體輔助預測升溫模型

(一) 模型數據

1. 套用方法：我們將數據套入 WEKA 軟體分析，嘗試使用軟體中數十種方法，發現分析最好的方法有 Additive Regression、KStar、Gaussian Processes、Multilayer Perceptron，四種方法在各指標的表現如表 4。

表 4：四種方法在各指標的表現

方法	相關係數	絕對誤差 MSE	均方根誤差 RMSE	相對誤差 RAE	均方根相對誤差 RRSE
Additive Regression	0.4389	0.6067	0.9069	56%	78.74%
Kstar	0.4389	1.94	2.55	179.08%	221.39%
Gaussian Processes	0.3084	1.3637	1.5161	125.88%	131.63%
Multilayer Perceptron	0.5002	0.6312	0.9143	58.26%	79.38%

2. 結果比較

(1) 相關係數 (Correlation coefficient)

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}}$$

μ_x ：變數 x 的平均數

μ_y ：變數 y 的平均數

ρ ：相關係數會落在-1 到 1 之間

$-1 \leq \rho \leq 1$

相關係數主要衡量兩變數間線性關聯性的高低程度，相關係數的平方值越接近 1，散布形狀愈接近一直線，表示相關愈高。相關係數的平方值越接近 0，散布情況愈分散，愈接近圓形，則相關愈低，如圖 43。

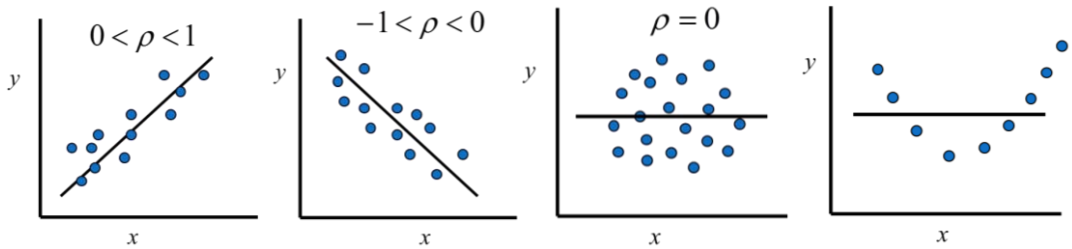


圖 43：不同範圍的相關係數其數據分布比較

相關係數

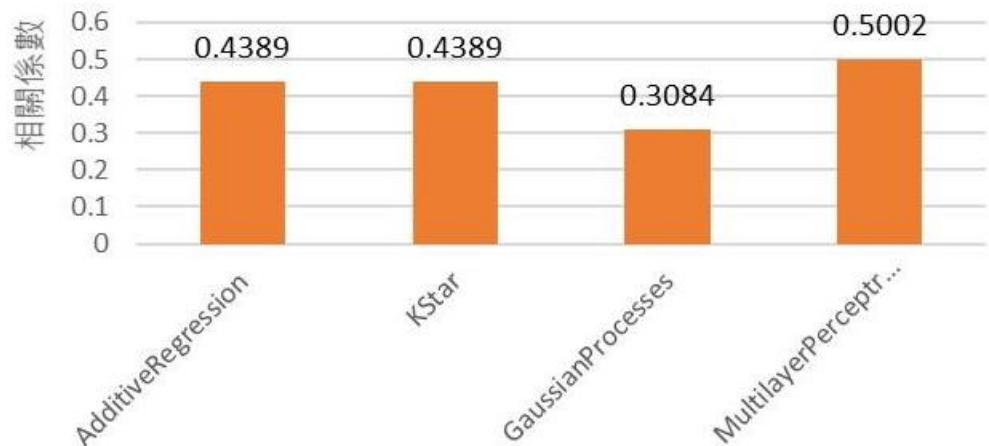


圖 44：四個方法的相關係數結果

結果如圖 44，從柱狀圖上的數字標示可看出四個方法的相關係數。Multilayer Perceptron 的相關係數是四個方法中最接近 1 的，也就是線性相關性最高的。

(2) 誤差值軟體結果中共有四種不同誤差值，說明與結果比較如下：

a. 絕對誤差 (Mean absolute error, MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|$$

n: 資料數
f_i: 預測值
y_i: 真實值

絕對誤差將每個『預測值』和『實際值』相減取絕對值，然後相加取平均數。誤差值若是越大，代表預測的效果越差；誤差值若是越小，代表預測的效果越好。

b. 均方根誤差(Root mean squared error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE_w}{W}} = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^N w_i u_i^2}$$

SSE_w = 加權平方和
W = 母體的總權重
N = 觀察值數
w_i = 第 i 個觀察值的權重
u_i = 第 i 個觀察值其『預測值』和『實際值』的誤差

均方根誤差可根據每個屬性不同的權重，取按照權重分配的誤差；誤差值越大，代表預測的效果越差；誤差值越小，代表預測效果越好。

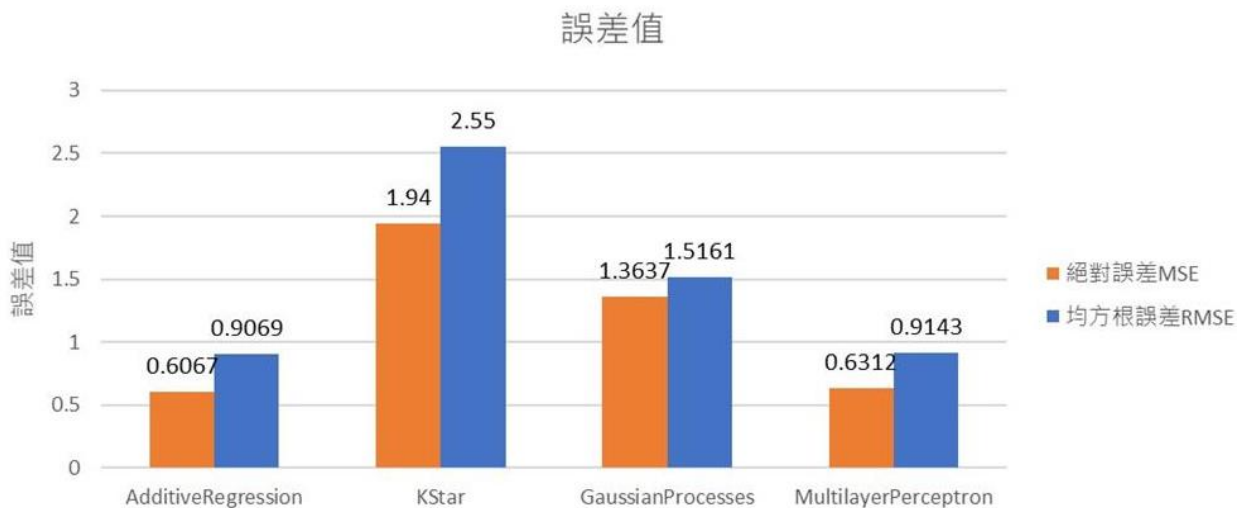


圖 45：四個方法的絕對誤差與均方根誤差

結果如圖 45，從柱狀圖上的數字標示，可看出四個方法的絕對誤差 MSE 及均方根誤差 RMSE。誤差最小的皆為 Additive Regression 方法。

c. 相對誤差(Relative absolute error, RAE)

$$U_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2 \right]^{1/2}}{\left[\sum_{i=1}^n A_i^2 \right]^{1/2}}$$

U_i = 相對誤差
 n = 觀察值數
 P_i = 預測值
 A_i = 實際值

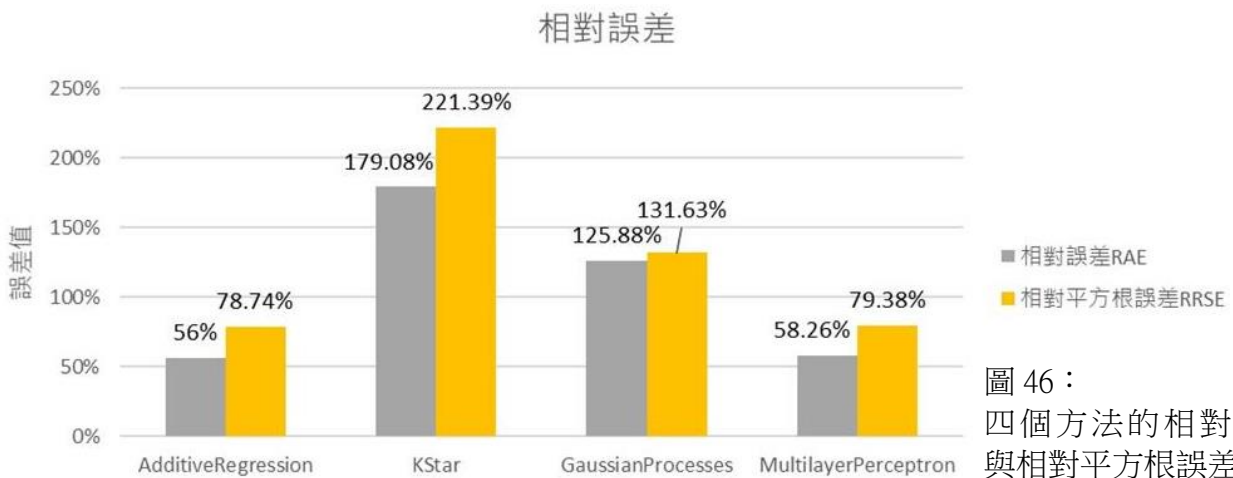
相對誤差將預測值與實際值間的差距總和，除以實際值，可得知誤差佔原本實際值的比例大小；誤差值若是越大，代表預測的效果越差；誤差值若是越小，代表預測的效果越好。

d. 相對平方根誤差(Root relative squared error, RRSE)

$$E_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{(j)} - T_j)^2}{\sum_{j=1}^n (T_j - \bar{T})^2}}$$

E_i = 相對平方根誤差
 n = 觀察值數
 P = 預測值
 T = 實際值
 \bar{T} = 實際值平均

相對平方根誤差將預測值與實際值間差距平方的總和，除以實際值與平均間差距平方的總和，可得知預測值誤差與實際值之間的差距相比較，其比例大小；誤差值若是越大，代表預測的效果越差；誤差值若是越小，代表預測的效果越好。



結果如圖 46，從柱狀圖上的數字標示可看出，Additive Regression 方法的相對誤差 RAE 和相對平方誤差皆最小。

(二) 輸入測試數據驗證模型

建構出模型之後，我們想知道模型與實際狀況是否相符合。因此，我們在微型溫室中注入 55mL 的二氧化碳，並測量其最大溫差。經過與建立模型相同的實驗步驟，測量出最大溫差為 3.75°C。

再透過前面四個方法得到的模型，輸入 55mL 的二氧化碳數值，得到四個方法預測得到的答案，如表 5。

表 5：四種方法的預測值與實際值兩者差距比較

	實際測量的溫差(°C)	模型預測的溫差(°C)	預測值-實際值
Additive Regression	3.75	4.13	0.38
KStar		5.69	1.94
Gaussian Processes		4.977	1.227
Multilayer Perceptron		5.533	1.783

為了比較哪個方法最接近實際狀況，我們計算出預測值和實際值的差距，差距越相近，表示模型預測越接近實際狀況。使用 Additive Regression 方法得到的差距為 0.38，為所有方法中最小(表 5)。因此，我們從結果可知，模型中最接近實際狀況的，是 Additive Regression。

伍、討論

一、實驗結果與其他研究比較

(一) 油漆塗料部分

在我們做的油漆塗料實驗中，發現白漆中添加碳酸鈣對環境降溫有最好的幫助。參考普度大學阮修林教授的研究後發現，我們的實驗結果跟他們不太一樣。阮教授團隊研發的「超白漆」，是將白漆主要成分改為硫酸鋇，可達到不吸收紫外線及減少吸收陽光的效果，使環境溫度降低。

我們的結果和阮教授團隊不同，推測可能的原因是：(1)他們的油漆顆粒有經過奈米化處理，奈米化可能使物質特性轉變，而我們只有簡單使用研鉢將油漆顆粒磨細；(2)他們的超白漆有將二氧化鈦的成分去除，而我們是在市售白漆中直接加入磨細的顆粒。而坊間的白漆主成分含二氧化鈦，此物質也可能影響實驗結果。但就便利性來講，我們的材料較方便取得，非常親近一般家庭，只需要一般的白漆和一定比例磨細的碳酸鈣即可達到效果，既便宜又方便。

(二) 藻類綠建築

根據環境資訊中心網站所述「運用植栽覆蓋被太陽直射的屋頂，植物的蒸散作用可以降低周圍環境溫度，搭配植物葉片的遮陰效果以及介質層的遮蓋，可隔熱降溫，營造舒適環境」。國內研究也指出，若設一個 4 平方公尺的薄層式草地綠屋頂，可降低室溫約 2~3°C。在我們的實驗中，蘚苔降溫為 0.19°C，藻類則為 2.25°C，雖有所誤差，但也有達到降溫的效果。我們認為下降溫度有所差別的原因，是因為微型溫室中鋪的植被厚度較薄，而且實驗中的燈泡強度比太陽照射的強度弱，因此降溫幅度較不明顯。雖然尺度規模有所不同，我們的實驗仍驗證了其他研究的說法，證明綠建築可以讓大自然為人類工作，兼具減碳、降溫、保水等額外好處，實在是一舉數得。

二、生活應用

學校的室外水泥場地，如集合場、籃球場等，在陽光曝曬後熱得發燙，塗上升溫幅度較小的漆，有助於減緩場地升溫的情況；且在各種不同顏色的油漆內加入碳酸鈣，讓需要以顏色劃分的球場也可以達到反射輻射使其降溫的效果，兼具實用性與舒適性。此塗漆可以塗在建築物的屋頂(圖 47)，公寓大樓也可大面積使用白漆，除了增加整體造型，也可讓整棟樓溫度降低，這樣夏天時室內冷氣溫度不用調太低，不但省電、減少電費開銷，更進一步減少發電廠的 CO₂ 排放量。

此外，也可增加屋頂綠建築的設計，除了綠化美觀外，屋頂覆蓋植被可以吸收 CO₂，也使建築物室內降溫。另外，在查資料的過程發現，有一種動態的海藻展示牆(圖 48)，它設置在建築物外，可幫助建築物降溫、提供熱水與生質能等功能。它對電力的需求很少，每年約省下台幣 3.6 萬元的電費。相信未來若能普及，在公寓大樓安裝此裝置能減少許多能源的消耗。



圖 47：建築物屋頂塗白漆



圖 48：海藻展示牆

三、環保議題

(一) 減少碳排放：

隨著環保意識逐漸提升，現今的產品也多標示有「碳足跡」，可得知一項產品直接或間接產生的二氧化碳排放量。政府及民間團體也在提倡減少生活中的碳足跡，如多搭乘大眾運輸工具、料理改使用當地當季的天然食材等。因此，減少二氧化碳排放，是世界各國日益重視，並開始著手改善的議題。

(二) 現今政策

『2050 零碳排』是為了減緩全球暖化而制定的政策，全球已有多國加入此行列，台灣也在 2021 年由總統宣布加入此行列。淨零排放不是不排放，而是讓人為造成的溫室氣體排放極小化，再用負碳技術、森林碳匯等方法抵消，達到淨零排放(圖 49)。2021 年的《溫室氣體減量及管理法》修法，也許能讓 2050 年淨零碳排期程入法，並訂定有效碳定價，推動安全永續的能源轉型。



圖 49：碳的淨零排放

(三) 節能減碳估算

根據我們在微型溫室當中，水泥片上塗白漆模擬建築屋頂的實驗結果，對照組(白漆不加料)的升溫 ΔT 為 2.31°C ，實驗組(白漆加 60 克碳酸鈣)的升溫 ΔT 為 1.88°C ，表示如果按照我們測試出的最佳配方，在白漆中加入 60 克碳酸鈣，可以讓室內降溫約 0.43°C 。

以夏季五、六月份天氣炎熱，需要開冷氣降溫為例，可以計算出我們的加料白漆塗在屋頂上之後，冷氣可多調高 0.43°C 。根據經濟部能源局的資料顯示，冷氣每調高 1°C ，約可省下 6%的電能，因此調高 0.43°C 可省下 2.58%的電能。以我們學校的教室為例，每間教室有兩台功率 8kW 的冷氣機，若每天從早上 10 點吹冷氣到下午 4 點，建築物屋頂塗漆之後，一間教室兩個月可省下 148.6 度的電能，整間學校共有 58 間教室來計算，兩個月總共可省下 8619 度的電能。算式如下：

屋頂塗上不加料白漆，所消耗的電能(E_1)： $E_1=(8\times 2)\times(6\times 60)=5760\text{kw}\cdot\text{hr}=5760$ 度

屋頂塗上加料白漆，所消耗的電能(E_2)： $E_2=5760\times(1-0.0258)=5611.4$ 度

因此，一間教室兩個月可省下的電能為： $E_1-E_2=5760-5611.4=148.6$ 度

整間學校 58 間教室兩個月可省下的電能為： $148.6\times 58=8619$ 度

接下來我們參考台灣電力公司的電價表(表 6)，算出 E_1 和 E_2 所需的電費，即可估算出學校 58 間教室兩個月總共可省下 55245 元的電費。算式如下：

$E_1=5760$ 度的電費：

$$1.63\times 120+2.38\times(330-120)+3.52\times(500-330)+4.80\times(700-500)+5.66\times(1000-700)+6.41\times(5760-1000)=34463.4 \text{ 元}$$

$E_2=5611.4$ 度的電費：

$$1.63\times 120+2.38\times(330-120)+3.52\times(500-330)+4.80\times(700-500)+5.66\times(1000-700)+6.41\times(5611.4-1000)=33510.9 \text{ 元}$$

因此，一間教室兩個月共可省下電費： $34463.4-33510.9=952.5$ 元

整間學校 58 間教室兩個月共可省下電費： $952.5\times 58=55245$ 元

表 6：台灣電力公司電價表

每月用電度數分段		單位：元	
		夏月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
120度以下部分	每度	1.63	1.63
121~330度部分		2.38	2.10
331~500度部分		3.52	2.89
501~700度部分		4.80	3.94
701~1000度部分		5.66	4.60
1001度以上部分		6.41	5.03

根據行政院環保署發布的資料：2019 年的排碳係數為 0.509 kg，也就是火力發電廠每發一度電會排放 0.509 kg 的二氧化碳，可推算出若在學校教室屋頂塗上我們的加料白漆，省下的電能可使學校兩個月的碳排放量減少約 4387 kg。最後，根據環保署發布的碳足跡資料，我們將省下來的碳排放量，換算成可製造的產品份量(如表 7)，如此更能體會到節能減碳帶來的重大效益。

表 7：將減少的碳排放量換算成產品

產品名稱	產品照片	碳排放量	以省下來的碳排放量 可以製造的份量
悅氏礦泉水(1500 mL)		0.32 kg CO ₂ e/每瓶	13709 瓶
筆記型電腦		260 kg CO ₂ e/每臺	17 台
麥香奶茶 300mL 利樂包裝		0.15 kg CO ₂ e/每包	29247 包
統一肉燥方便麵		0.15 kg CO ₂ e/每包	29247 包
竹纖維羅紋無袖尺寸：XL		2 kg CO ₂ e/一件	2193 件
美利達自行車		140 kg CO ₂ e/一台	313 台
百吉牌衛生紙（110 張）		0.4 kg CO ₂ e/一包	10967 包

註：CO₂e 為二氧化碳當量，是測量碳足跡的標準單位。

綜合以上估算，我們將結果統整如下表 7，並繪製成圓環圖 (圖 50)，來說明我們學校 58 間教室在兩個月的節能減碳成果：可節省電能約 2.58%、節省電費約 2.76%、減少排碳量約 2.58%。

表 7：以學校共 58 間教室為例，估算兩個月的節能減碳成果

	屋頂塗不加料白漆	屋頂塗加料白漆	兩者差值	占原先的比例(%)
冷氣耗費電能 (單位：度)	334080	325461	8619	2.58%
冷氣耗費電費 (單位：元)	1998877	1943632	55245	2.76%
冷氣耗電排碳量 (單位：kg)	170047	165660	4387	2.58%

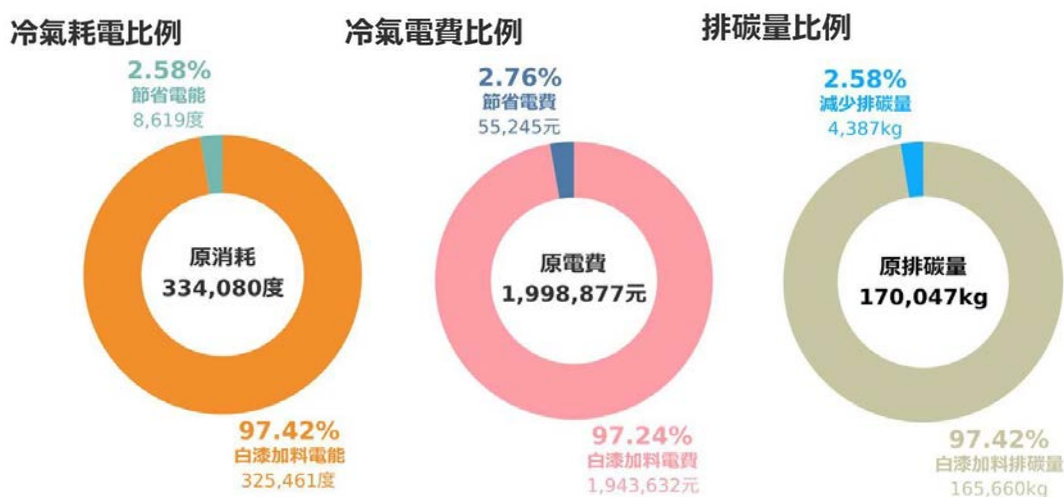


圖 50：以學校共 58 間教室為例，估算兩個月的節能減碳成果圓環圖

四、未來可延伸的研究

我們的研究採用微型模型的方式，在密閉玻璃容器中灌入 CO₂，照光後模擬並分析建築物的溫度變化，以及綠建築減少 CO₂ 的效果。雖然模型使用的是 850 毫升的玻璃罐，規模不大，但有許多實驗操作的好處，如照光面積均勻、氣體較易擴散至瓶內角落，也較好控制氣體的逸散；在準備綠建築覆蓋材料時，選用的是身形較小的蘚苔和藻類，是校園中普遍常見的植被，好採集且單位面積覆蓋的植被數量極高，建構成模型時頗有微型花園造景的樣子，十分賞心悅目。

在討論後發現，我們的實驗還有很多可研究之處，之後可以嘗試加入不同化學物質和不同的劑量，研究出各種化學物質的最佳劑量配方，希望對減緩地球暖化的研究可以有一些幫助。在綠建築的部分，我們認為以後可以加入更多植被種類，來測試它的減碳、降溫效果。還可以設計新式的綠建築裝置，並實際放置在校園的各個角落，測試其效果以及裝置的實用性。

陸、結論

一、利用 Arduino 連結感測器建立微型溫室

本實驗中建立的微型溫室，以 Arduino 連結溫度與二氧化碳感測器，可將溫室中的溫度與二氧化碳濃度隨著時間的變化趨勢完整的記錄下來，對於實驗的觀測十分快速與便利。

二、利用微型溫室探討不同油漆塗料對建築物的降溫成效

本實驗在密閉玻璃罐中注入二氧化碳，測量水泥片使用不同塗漆的升溫與降溫幅度，並以「升溫 ΔT 」和「升溫比」來分析是否有較佳的降溫效果。

由升溫比的結果可知，白漆加 30g 碳酸鈣對戶外水泥地面的降溫效果最佳；而將塗漆後的水泥片架高，模擬建築物的屋頂，由結果可知，白漆加 60g 碳酸鈣對室內降溫效果最佳。最後是白漆加不同料 (碳酸鈣、碳酸鋇、硫酸鈣、硫酸鋇)的結果，以碳酸鈣對室內降溫效果最佳。

三、利用微型溫室探討綠建築的降溫減碳成效

為了模擬綠建築的減碳降溫效果，我們做了三個組別：對照組、藻類、蘚苔做比較。結果發現藻類覆蓋的水泥片對室內降溫的效果最佳。另外，分析微型溫室中 CO_2 的濃度變化，藻類也讓 CO_2 濃度下降最多。綜合以上結果可推論，相較於對照組和蘚苔，藻類是三者之中最適合作為綠建築的植被種類。

四、利用 WEKA 軟體輔助預測升溫模型

我們在自製的微型溫室中注入不同體積的 CO_2 氣體，並以 WEKA 軟體計算模型誤差，其中 Additive Regression 皆得到誤差最小的結果。另外，我們把實際值帶入 WEKA 模型中進行測試驗證，Additive Regression 的預測值與實際值最相近，因此綜合以上結果，Additive Regression 具有最好的預測結果。

柒、參考文獻資料

- [1]自然與生活科技(民 109), “跨科單元—發燒的地球”,台北:南一文教事業。
- [2]陳文姿(2018)。好看好吃又省能 世界首棟「綠藻」建築師：台灣很適合。環境資訊中心電子報。取自 <https://e-info.org.tw/node/209920>
- [3]2050 零碳排(2021)。2050 淨零排放 經濟部 MOEA。取自 <https://reurl.cc/447oMR>
- [4]綠領建築師培訓工作坊專業講師群(2013)。【綠領建築師教你設計好房子】讓大自然幫忙降溫、保暖：綠屋頂。環境資訊中心電子報。取自 <https://reurl.cc/qOjLq3>
- [5]康琪、方以佳、施紫昀(109)。探討臺灣都市氣溫變化地面積設計之降溫效果。屏東縣第 60 屆國中小學科展。
- [6]何涵育、陳佑昇、盧柔芯、何秉璋、陳俊昇、莊皓勛、黃聰敏、陳瓊如(2001)。退燒—溫室效應之研究探討。中華民國第 51 屆全國中小學科展國小組化學科。
- [7]王親嶸、黎桂如、沈浩、李文正、張志堅、陳輝雄(1999)。發燒中的地球。中華民國第 49 屆全國中小學科展國中組地球科學科。
- [8]Silvia Moreno. Bees ‘ejaculate’ themselves to death when it gets too hot. (2022, February24). NEW YORK POST. Retrieved March 15, 2022, from: <https://reurl.cc/Zr34pa>
- [9]Xiangyu Li, Joseph Peoples, Peiyan Yao, and Xiulin Ruan. Ultrawhite BaSO₄ Paints and Films for Remarkable Daytime Subambient Radiative Cooling. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2021 13 (18), 21733-21739
- [10]台灣電力公司(2022)。「台灣電力公司電價表」[公告]。取自：<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=238>

【評語】 030511

本作品研究動機明確，主題實用，工具創新。惟本研究得到的增溫現象主要來自玻璃罩，而非二氧化碳，使得研究主題與研究結果的關聯稍嫌薄弱。可再思考加入白漆的各種塗料，何以幫助降低室溫以及降溫不同的原因。

作品簡報

The background features a 3D bar chart with various colored bars (red, orange, teal, yellow) on the left side. A large, faint watermark of a school logo is visible in the center, containing the text 'National Primary & High School Science' and 'National Science Museum'.

「白漆」也能救地球

以ARDUINO微型溫室模型探討綠建築應用

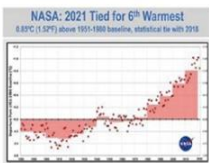
組別：國中組

科別：地球科學科

前言



溫度過高導致雄蜂死亡



NASA監測地球氣溫正在逐年上升



危機 vs. 轉機



極端天氣、旱災、淹水、冰山融化、生態浩劫



實驗目的



利用Arduino連結感測器建立微型溫室



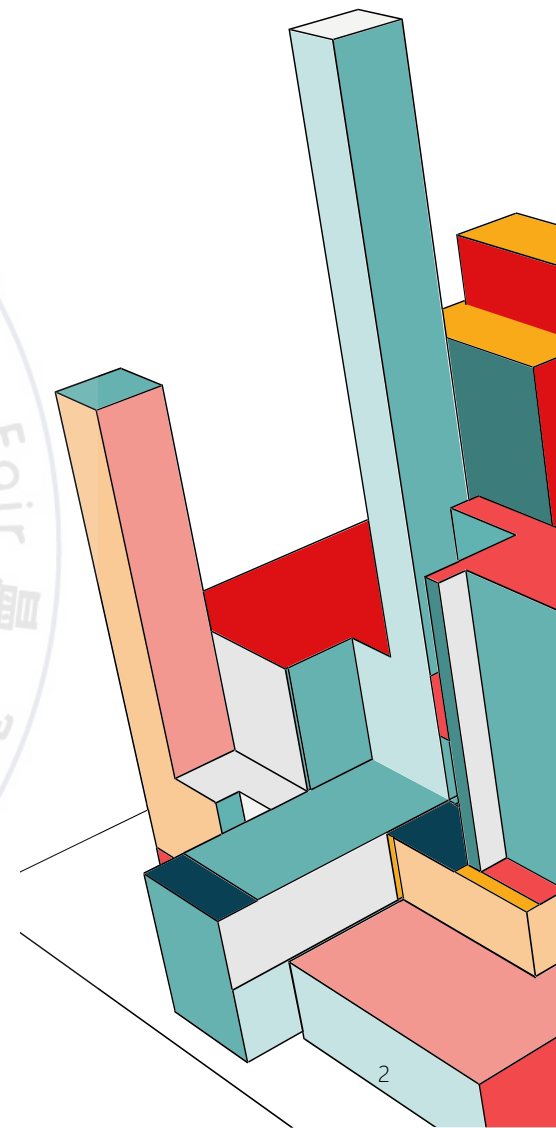
利用微型溫室探討不同油漆塗料對建築物的降溫成效



利用微型溫室探討綠建築的降溫減碳成效



利用WEKA軟體輔助預測升溫模型



研究歷程

Arduino

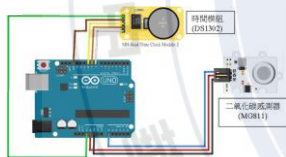
```
int ledPin = 13; // 定義LED的腳位
int sensorPin = A0; // 定義感測器的腳位
int sensorValue = 0; // 感測器讀數
int ledOnTime = 1000; // LED點亮時間 (ms)
int ledOffTime = 1000; // LED關閉時間 (ms)

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // 設定LED為輸出
  pinMode(sensorPin, INPUT); // 設定感測器為輸入
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(sensorPin); // 讀取感測器值
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // 點亮LED
  delay(ledOnTime); // 延遲時間
  digitalWrite(ledPin, LOW); // 關閉LED
  delay(ledOffTime); // 延遲時間
}
```

● 程式撰寫

● 電路連接



● CO₂感測器校正



製作塗漆水泥塊



● 水泥灌模

● 調製不同成分的油漆



● 手工塗漆陰乾



CO₂氣體製備



● 排水集氣法

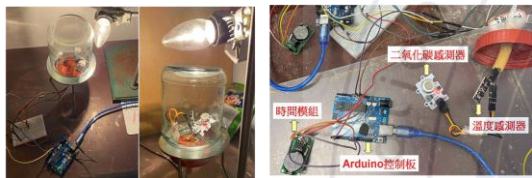
● 密封容器



● 注入氣體

研究方法

一、利用Arduino連結感測器建立微型溫室



二、探討不同油漆塗料對建築物的升降溫趨勢

油漆顆粒種類	油漆顆粒質量 (g)
碳酸鈣	10
	30
	60
碳酸鋇	30
硫酸鈣	30
硫酸鋇	30



▲ 油漆塗料質量

▲ 塗料後的水泥塊

三、模擬「水泥地面」、「建築物屋頂」照光後的升降溫趨勢



▲ 模擬「水泥地面」

▲ 模擬「建築物屋頂」

- 在微型溫室中，分別注入25mL與50mL的二氧化碳氣體
- 開燈照光35分後，再關燈35分
- 以 Arduino 溫度感測器連續偵測模型內的升溫趨勢，
- 測試自製微型溫室模型的效果，並找出的氣體注射量。

	不加料 (對照組)	加料 (實驗組)
蒸餾水 (mL)	10mL	
油漆塗料	漆不加料	碳酸鈣 碳酸鋇 硫酸鈣 硫酸鋇

▲ 油漆塗料調配

	對照組	實驗組
油漆塗料	漆不加料	漆加10g、30g、60g碳酸鈣
CO ₂ 注射量	50mL	
照光時長	55分鐘	
關燈時長		

▲ 模擬「水泥地面」和「建築物屋頂」的各項實驗條件

研究方法

四、比較不同油漆添加物的效果

	對照組	實驗組
油漆塗料	漆不加料	添加 30g 碳酸鈣、 碳酸銀、 硫酸鈣、 硫酸銀
CO ₂ 注射量	50mL	
照光時長	55分鐘	
關燈時長		

▲ 比較不同油漆添加物的各項實驗條件

五、利用微型溫室探討綠建築的減碳降溫趨勢

	對照組	實驗組
油漆塗料	無植被、 濕潤濾紙 水泥片	將藻類、蘚苔 分別鋪在濕潤 濾紙水泥片上
CO ₂ 注射量	50mL	
照光時長	55分鐘	
關燈時長		

▲ 綠建築的各項實驗條件



▲ 實驗中使用的藻類



▲ 實驗中使用的蘚苔

六、用 WEKA 軟體輔助預測升溫模型



注入的
CO₂體積

35mL

40 mL

45mL

50mL

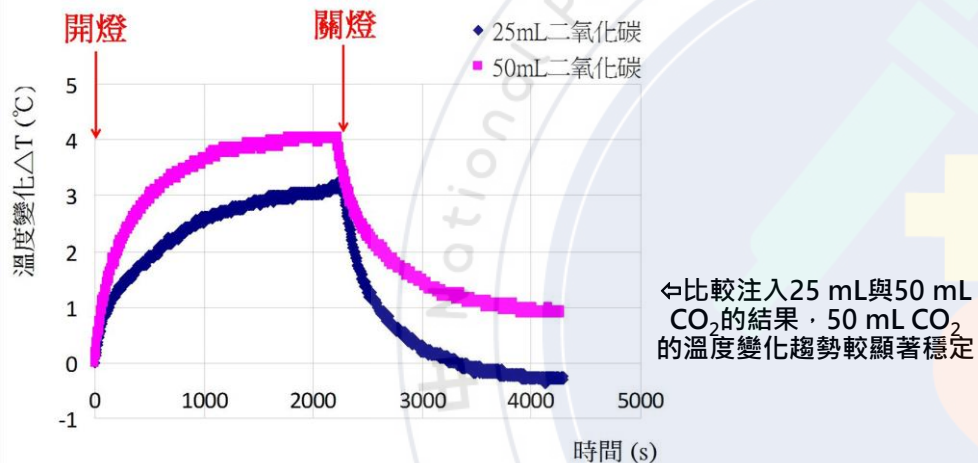
60 mL

▲ CO₂氣體注射量

- **WEKA 的功能？**
- 用於資料探勘(data-mining)，使用機器學習算法對數據進行分析。
- **實驗內容：**
 - (1) 將二氧化碳與溫度感測器放入模型
 - (2) 注入CO₂氣體並照光
 - (3) 連接感測器收集CO₂與溫度數據
 - (4) 待溫度上升到最高溫
 - (5) 儲存數據。
 - (6) 輸入WEKA軟體中進行後續模型分析。

研究結果

一、利用Arduino感測器建立微型溫室



二、模擬水泥地面

白漆加30g碳酸鈣最佳

白漆加30g碳酸鈣升溫
 ΔT 及升溫比都最小

實驗結果的分析方式說明

(1) 升溫 ΔT ：

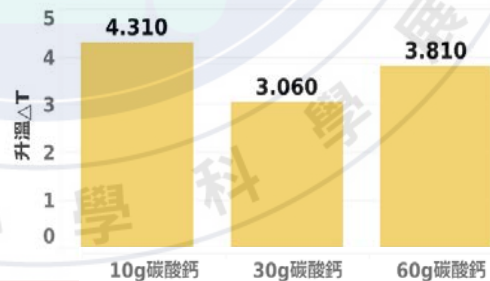
照光之後溫度升到最高點時與起始溫度的溫度差

(2) 升溫比：

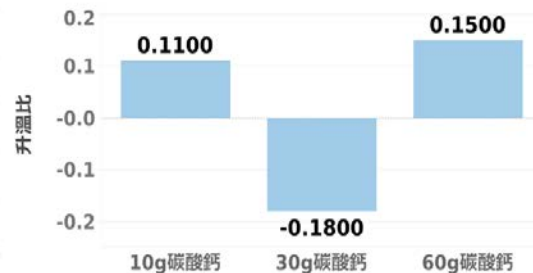
$$\text{升溫比} = \frac{(\text{實驗組升溫}\Delta T - \text{對照組升溫}\Delta T)}{\text{對照組升溫}\Delta T}$$

可得知溫差占對照組升溫的比例，因此升溫比的數值越小，代表降溫效果最佳。

漆加碳酸鈣 ΔT



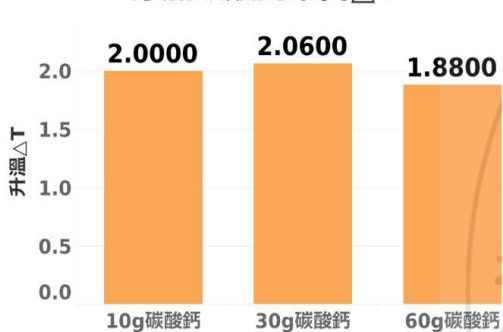
漆加碳酸鈣升溫比



研究結果

三、模擬建築物屋頂

漆加碳酸鈣架高 ΔT



漆加碳酸鈣架高升溫比



白漆加60g碳酸鈣

升溫 ΔT 及升溫比數值最小

其降溫效果最佳

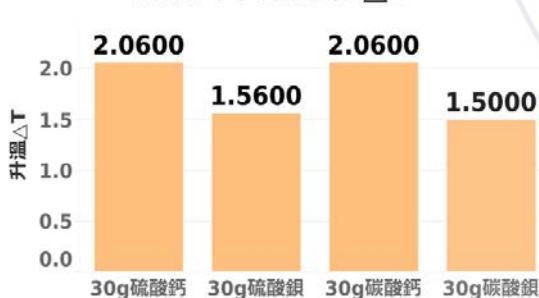
以30g做為油漆
添加物的劑量

但是，白漆加60g碳酸鈣：

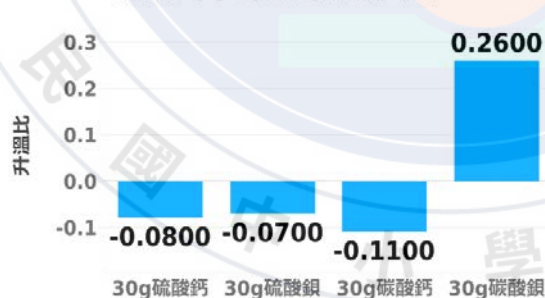
- (1) 過於濃稠，不易調製
- (2) 有嚴重龜裂現象

四、比較不同油漆添加物的效果

漆加不同料架高 ΔT



漆加不同料架高升溫比



漆加碳酸鋇升溫 ΔT 最少，

而漆加碳酸鈣升溫比的

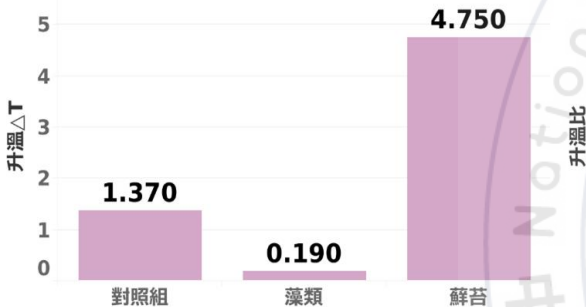
數值較小

作為屋頂塗漆，
加碳酸鈣降溫效果
最佳

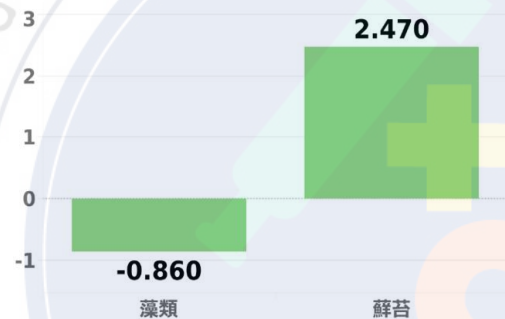
研究結果

五、綠建築的減碳降溫趨勢

綠建築 ΔT



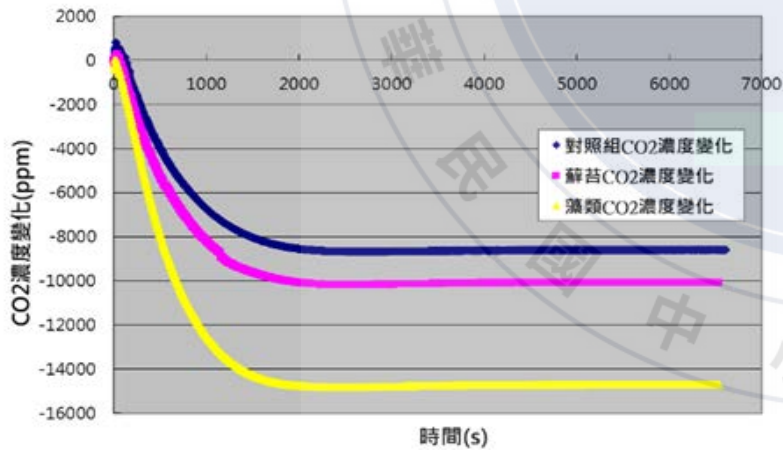
綠建築升溫比



↪ 升溫 ΔT ：升溫幅度最小的是藻類，最大的是蘚苔。

↪ 升溫比：升溫比最小的為藻類，最大的為蘚苔

綠建築CO₂變化



藻類覆蓋

- 降溫的效果最佳
- CO₂濃度下降最多

藻類最適合作為
綠建築植被

研究結果

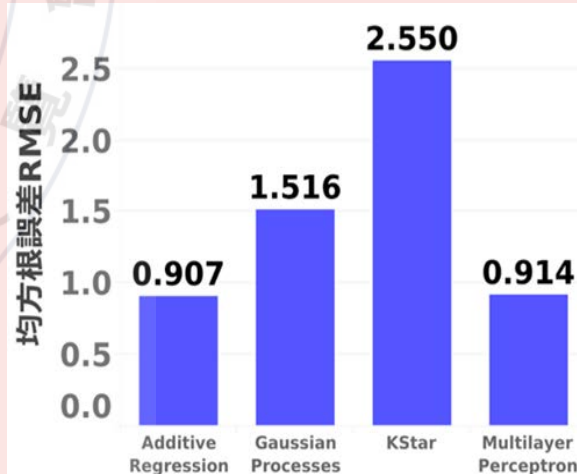
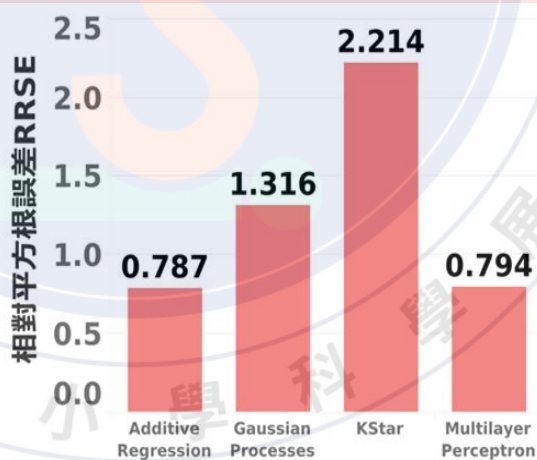
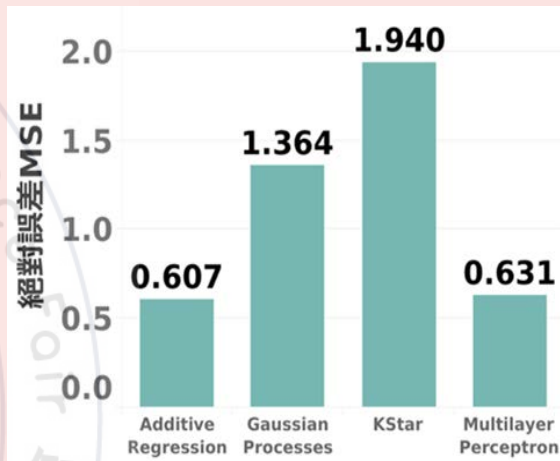
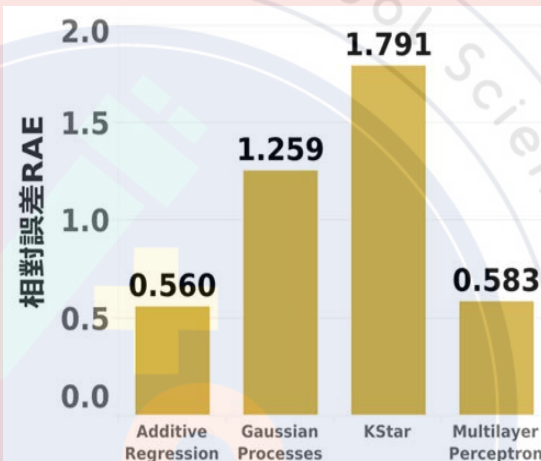
六、利用WEKA軟體輔助預測升溫模型

四種方法的相關係數

Additive Regression	Gaussian Processes	KStar	Multilayer Perceptron
0.4389	0.3084	0.4389	0.5002

軟體方法比較

- Multilayer Perceptron 線性相關性最高
- Additive Regression 各種誤差皆為最小



研究結果

六、利用WEKA軟體輔助預測升溫模型

測試模型

建構出模型之後，我們想知道模型與實際狀況是否相符合。因此在微型溫室中注入55mL的二氧化碳，並測量其最大溫差。經過與建立模型相同的實驗步驟，測量出實際溫差為3.75°C。再透過前面四個方法得到的模型，輸入55mL的二氧化碳數值，得到四個方法的預測答案

模型是否符合實際狀況？

為了比較哪個方法最接近實際狀況，我們計算出預測值和實際值的差距，差距越相近，表示模型預測越接近實際狀況。

四種方法的模型預測結果

方法	實際測量的溫差(°C)	模型預測的溫差(°C)	預測值-實際值
Additive Regression	3.750	4.130	0.380
Gaussian Processes		4.977	1.227
KStar		5.690	1.940
Multilayer Perceptron		5.533	1.783

Additive Regression

- 得到預測值和實際值的差距為0.38
- 是所有方法中差距最小者

做為模型，

**Additive
Regression**

是最佳方法

結論

與其他研究比較

- 普渡大學阮教授團隊研發的「超白漆」，主成分為硫酸鋇。
- 我們的結果和阮教授團隊不同，推測可能原因是：
 - (1)他們的油漆顆粒經奈米化處理
 - (2)超白漆有去除二氧化鈦的成分
- 我們的材料較便宜方便。



生活應用與相關議題

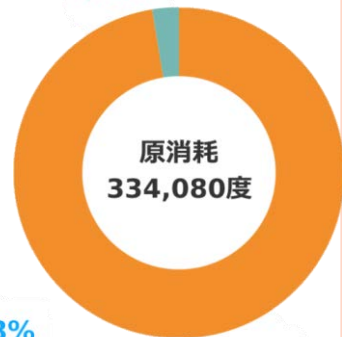
- 建造藻類綠建築
- 此塗漆可塗在建築物的屋頂，使整棟樓溫度降低。
- 符合『2050零碳排』—減緩全球暖化而制定的政策。



以我們學校58間教室、夏季2個月吹冷氣為例

冷氣耗電比例

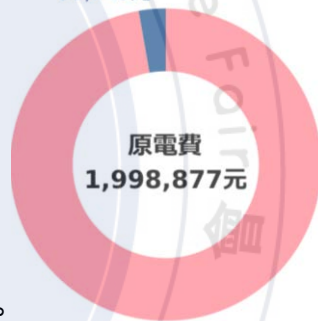
2.58%
節省電能
8,619度



97.42%
白漆加料電能
325,461度

冷氣電費比例

2.76%
節省電費
55,245元



97.24%
白漆加料電費
1,943,632元

2.58%
減少排碳量
4,387kg



97.42%
白漆加料排碳量
165,660kg

排碳量比例

節能KPI

8,619度▼
冷氣用電

55,245元▼
冷氣電費

4,387公斤▼
發電排碳量

結論

未來可延伸研究

- 研究出各種化學物質的最佳劑量配方。
- 加入更多植被種類，測試其減碳、降溫效果
- 設計新式的綠建築裝置，實際放置在校園，測試其效果以及裝置的實用性。

文獻

- [1]自然與生活科技(民109), “跨科單元—發燒的地球”,台北:南一文教事業。
- [2]陳文姿 (2018)。好看好吃又省能 世界首棟「綠藻」建築師：台灣很適合•環境資訊中心電子報。取自 <https://e-info.org.tw/node/209920>
- [3]2050零碳排(2021)。2050淨零排放 經濟部MOEA。取自<https://reurl.cc/447oMR>
- [4]綠領建築師培訓工作坊專業講師群(2013)。【綠領建築師教你設計好房子】讓大自然幫忙降溫、保暖：綠屋頂•環境資訊中心電子報。取自<https://reurl.cc/qOjLq3>
- [6]何涵育、陳佑昇、盧柔芯、何秉璋、陳俊昇、莊皓勛、黃聰敏、陳瓊如(2001)。退燒—溫室效應之研究探討。中華民國第 51 屆全國中小學科展國小組化學科。
- [7]王親嶸、黎桂如、沈浩、李文正、張志堅、陳輝雄(1999)。發燒中的地球。中華民國第 49 屆全國中小學科展國中組地球科學科。
- [8]Silvia Moreno. Bees ‘ejaculate’ themselves to death when it gets too hot. (2022, February24). NEW YORK POST. Retrieved March 15, 2022, from: <https://reurl.cc/Zr34pa>
- [9]Xiangyu Li, Joseph Peoples, Peiyan Yao, and Xiulin Ruan. Ultrawhite BaSO4 Paints and Films for Remarkable Daytime Subambient Radiative Cooling. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2021 13 (18), 21733-21739