

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 環境學科

## 探究精神獎

052606

植物有耳朵？

-環境中噪音對植物蒸散作用之探討

學校名稱：臺中市立臺中女子高級中等學校

作者： 高二 王思閔 高二 符絮荼	指導老師： 陳玉珊 王裕德
-------------------------	---------------------

關鍵詞：蒸散作用、分貝大小

# 摘要

本研究旨在探討環境濕度、聲音分貝大小及 PM2.5 濃度是否會影響植物的蒸散作用。已知植物蒸散作用旺盛與否與植物葉面上、下表皮(溫度差異)大小有關。本研究除了利用顯微測量技術測量茉莉氣孔的大小之外，並利用自製物聯網溫度分貝儀進行茉莉與番茄葉片表面溫濕度、聲音分貝大小及 PM2.5 濃度約六個月之數據收集。本研究將已搜集之資料經分析後，獲得以下結論：(1)當聲音(分貝大小)達到特定範圍時，植物葉面上、下表皮溫度差異會變大；(2)當環境濕度變高，植物會因氣孔變小，溫度差異變小；(3)環境中 PM2.5 的濃度和植物的蒸散作用間則無關聯性。根據結論(1)，本研究結果推論植物有小小的耳朵。

## 壹、研究動機

目前國內外研究植物面對環境中不同因子所產生的反應，皆有眾多發現，而其中最為有趣的，便是聲波學對於看似沒有耳朵的植物所產生的影響。演化理論學家哈德尼 (Lilach Hadany) 發現月見草 (*Oenothera drummondii*) 裡的花蜜糖分濃度，當周圍有蜜蜂靠近時，月見草便會在三分鐘內提高 20% 花蜜糖分濃度，而感應蜜蜂翅膀震動聲波的部位正是月見草的花朵 (Michelle Z. Donachue. 2019)。在該文獻資料中提到，若距離植物 20 公分持續撥放一小時 1kHz、100dB 的聲波會促進植物的細胞分裂、激活保護酵素及內源性激素的活性、增加植物細胞壁裡 ATP、可溶性糖分、可溶性蛋白質生成效率。更多的是，聲波可以增加 RNA 的產量以及強化植物自身的免疫系統。

而植物在面對環境中其他刺激，像是 CO<sub>2</sub> 和濕度的變化時，最有明顯變化的便是植物葉片上由兩個月彎形保衛細胞所圍住的氣孔孔隙大小。植物藉由氣孔開閉以進行蒸散作用，調節植物體內水分及 CO<sub>2</sub> 的濃度。科學家 Jennifer 提到透過觀察地表植物表皮的氣孔數，可推知地球環境歷史的變化 (Jennifer C. 2017)。

因此，本研究主要架設自製之物聯網溫度分貝儀在茉莉和番茄上，針對環境濕度、植物葉面上、下表皮溫度差異 (溫度差值)、聲音分貝大小及 PM2.5 濃度進行長時間 (2018 年 12 月 26 日至 2019 年 6 月 2 日) 之數據收集。並透過大數據分析軟體 MATLAB 進行數據分析，以探討校園中環境濕度、聲音分貝大小及 PM2.5 濃度對植物葉面上、下表皮溫度差異的影響。

## 貳、研究目的

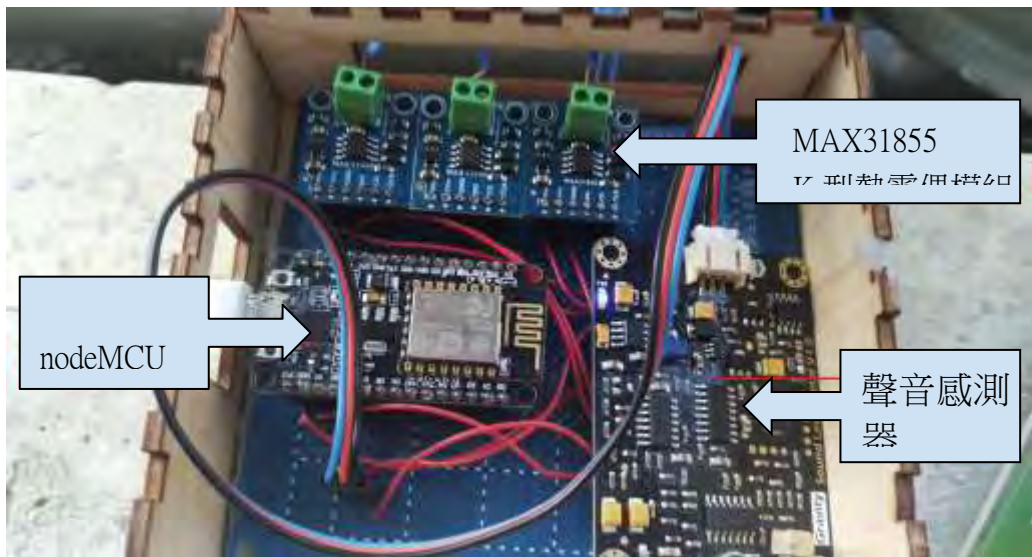
- 一、自製實驗用物聯網溫度分貝儀
- 二、探討校園環境因素(濕度、噪音(分貝大小)、PM2.5 濃度)與植物葉面上、下表皮溫度差異 (溫度差值) 的相關性
- 三、探討校園環境因素(濕度、噪音(分貝大小)、PM2.5 濃度)與實際測得葉(下)表皮的氣孔大小的相關性

## 參、 研究設備及器材

### 一、 物聯網溫度分貝儀

#### (一)實驗設備與材料：

MAX31855 K 型熱電偶模組、nodeMCU 控制板、聲音感測器、行動電源(作為外接電源)、一台搜集溫濕度及 PM2.5 的儀器(由 DHT22 溫濕度傳感器模組及 PM2.5 空氣品質感測氣做成的學校用空氣盒子)



圖一

### 二、 觀察植物葉片氣孔開閉

#### (一)實驗設備與材料：

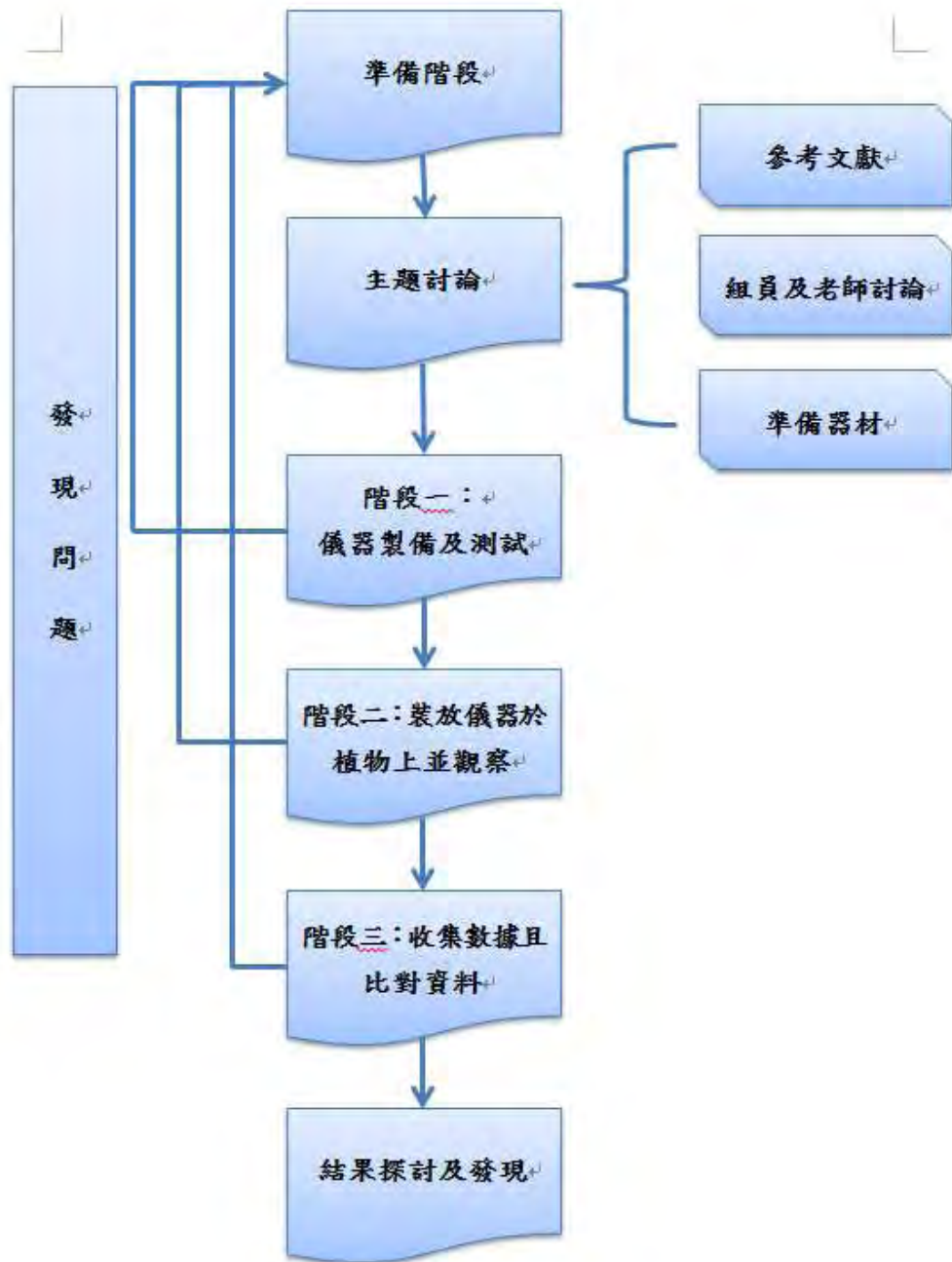
複式顯微鏡、載玻片、指甲油、膠帶、剪刀、植物(茉莉花及番茄)

#### (二)操作過程：

1. 選定一葉片，將指甲油塗抹於該葉片下表皮。
2. 待風乾後，用膠帶將其黏貼並撕下，後貼於在載玻片上。
3. 將載玻片放置於複式顯微鏡下用 40 倍物鏡倍率觀察。

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究過程基本架構



圖二.

### 二、階段一：儀器製備及測試

(一)準備工作：研究 MAX31855 K 型熱電偶模組、聲音感測器及 nodeMCU 控制板的電路圖及程式碼

(二)電路組裝測試並焊接：先用模型版做基本構造，後開始焊接電路

(三)裝上感測器並測試：輸入編輯好的程式，觀察以下兩點是否成立:

- 1.小型視窗的數據都有顯示
- 2.網路的數據端(Thinkspeak)是否有正常上傳資料

(四)外盒製作：用雷射切割出木盒，做基本的儀器防護

三、階段二：放置儀器於植物葉片上並觀察氣孔開閉情形

(一)準備工作：在校園內選定日照充足的地方，並選擇兩棵植株:

1.茉莉花:因其枝葉茂盛且氣孔方便觀察(圖三.)

2.番茄:因為已經結實壘壘，且由國外研究(Reda H E Hassanien, HOU Tian-zhen, LI Yu-feng , LI Bao-ming,2014)可發現番茄對聲波有其敏感度(圖四)

此外，在氣孔觀察方面，因番茄葉片氣孔位於細毛根部不易觀察，且葉片也脆弱，無法做長期觀察，故本研究只蒐集茉莉葉(下)表皮的氣孔開閉情況。

(二)裝上感測線於葉片：

1.兩株植株分別選定三片葉子

2.將連接 MAX31855 K 型熱電偶模組的感測線塑膠部分用膠帶沿著植物莖幹黏貼，後將感測線尾端金屬探頭部分置於葉(下)表皮正下方

3.並將搜集溫濕度及 PM2.5 的儀器放在兩植株中間

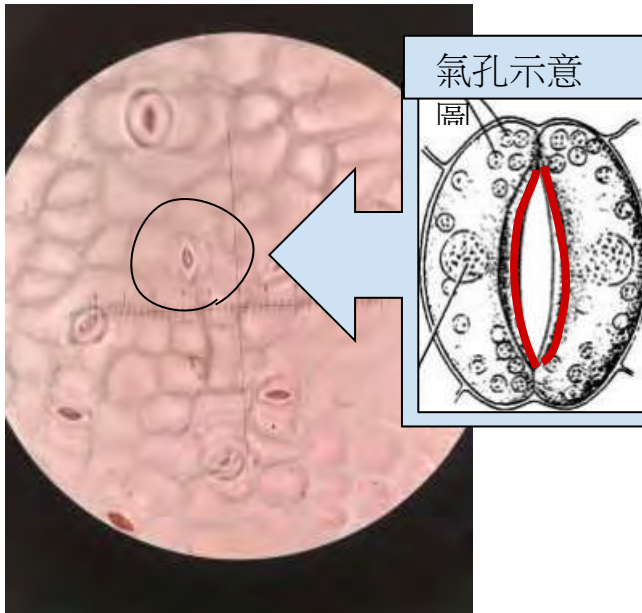
(三)蒐集可能的相關因素：在機器已裝設好的情況下，蒐集茉莉葉片下表皮一天中三個不同時段氣孔開閉情形。方法為在一片固定葉片下表皮，塗上指甲油，待指甲油乾燥後用膠帶黏下已凝固的指甲油層。將膠帶直接黏貼於載玻片上，後於複式顯微鏡下用 40 倍物鏡倍率觀察並記錄(觀察結果見圖五)，並利用顯微測量技術中的目鏡測微器測量氣孔大小。



圖三.



圖四.



圖五.(茉莉花下表皮)

#### 四、階段三：蒐集數據且比對資料

(一)資料分析：基於大數據的分析較難用 Excel 套裝軟體處理，所以本實驗使用 MATLAB 軟體，做大數據程式的編寫及資料分析

(二)比對資料：

1.把數個月的數據做成折線圖，來觀察長時間下環境因子與溫度差值的曲線變化

2.把每日的植物葉面上、下表皮溫度差異（溫度差值）與環境因素(濕度、噪音(分貝大小)、PM2.5 濃度)做成折線圖，試發現相對的影響關係

3.觀察所蒐集到的葉(下)表皮氣孔開閉的大小變化是否符合理論值，如有差異處，則針對該時段，觀察其環境因子與其他時段是否有明顯差異變化

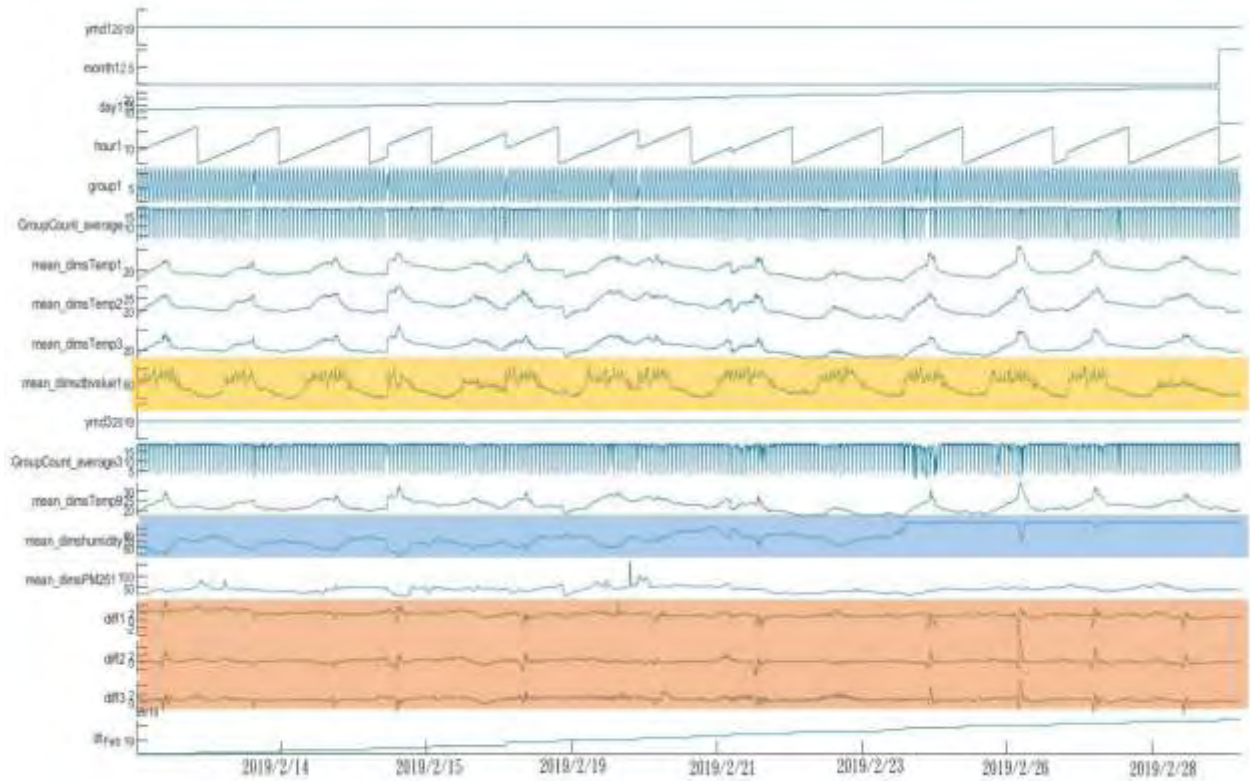
(三)分析最終結果：歸納上述資料的分析及比對，探討校園中噪音(分貝大小)與其他環境因子對植物蒸散作用的相對影響性。



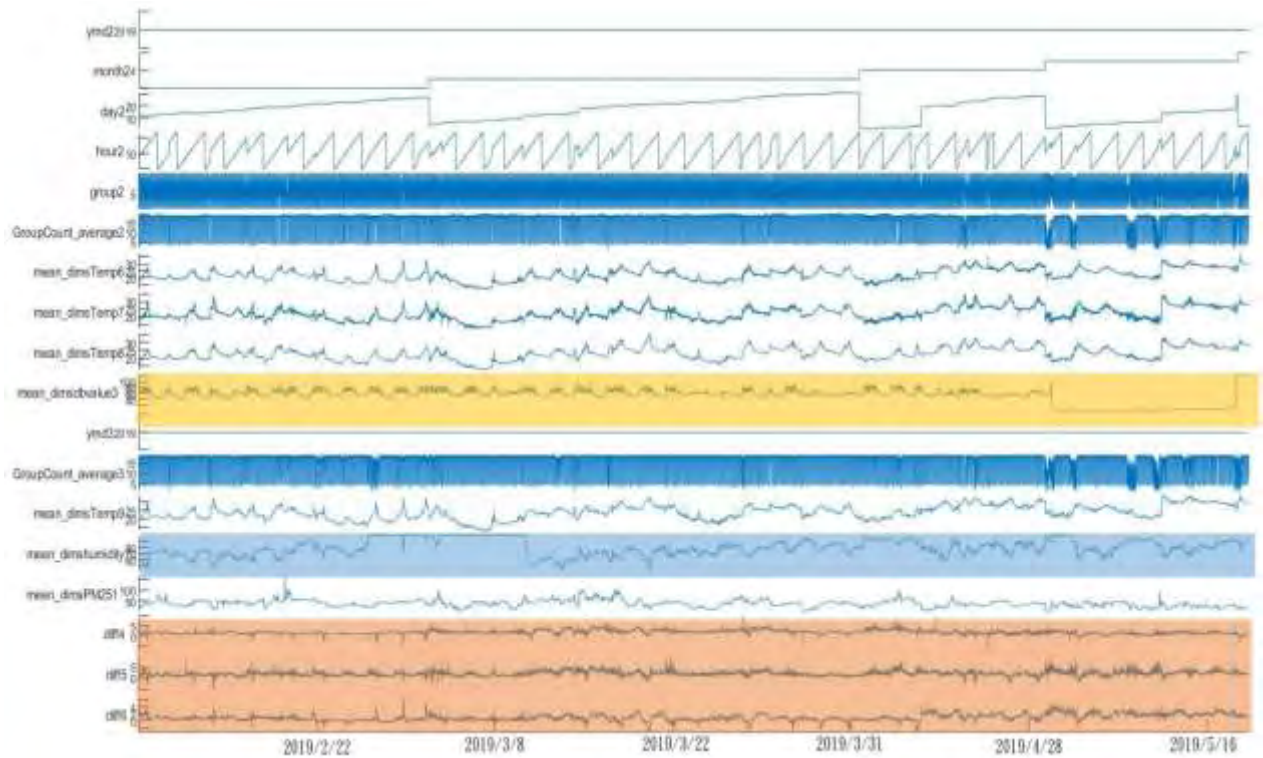
## 伍、研究結果

一、將所收集到的資料做成折線圖，觀察長期下環境因子與溫度差值的曲線變化

(一)兩種植栽數月折線圖



圖六.番茄( 2018/12/26 至 2018/03/01 )



圖七.茉莉花 (2019/01/24 至 2019/06/03)

註：黃色區塊表示分貝大小，藍色區塊表示濕度，粉色區塊表示溫度差值，藍跟粉紅區塊中間的曲線則為 PM2.5 的曲線

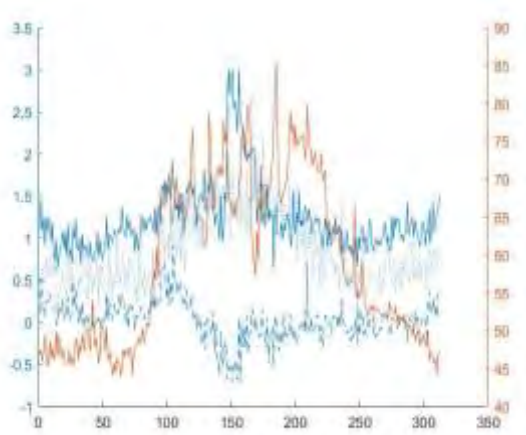
1.由圖六、七可得知，當分貝值(黃色區塊)變大後一段時間，溫度差值(粉色區塊)跟著變大;當濕度曲線(藍色區塊)下降，則溫度差值(粉色區塊)亦跟著變大。由此可證實濕度低時，蒸散作用旺盛，因此溫度差變大。除此之外，也可以初步推測，分貝值會影響溫度差值。

2.在圖六、七中，無法發現到 PM2.5 曲線與溫度差值曲線呈現相關。

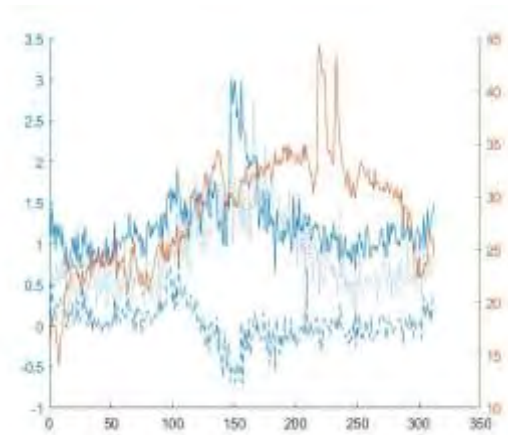
二、把每日的溫度差值分別與環境因子做成折線圖，試發現相對的影響關係

(以下討論結果，是基於除了所列出的觀察時間外，加上其他天的資料所得出的結果)

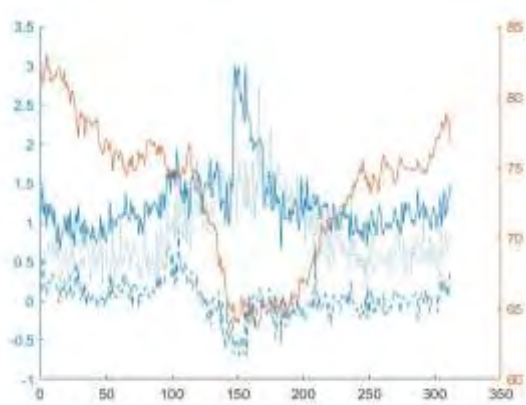
(一)番茄(觀察時間為 2019/02/23，圖中藍色曲線為每株植物上所蒐集的三組溫度差值，紅色曲線代表所觀察的環境因子)



圖八. 聲音(分貝)與溫度差值



圖九.PM2.5 與溫度差值



圖十.濕度與溫度差值

註:在圖八、九、十中，由上往下的第三條溫度差值曲線，因感測線脫落，所以不列入觀察

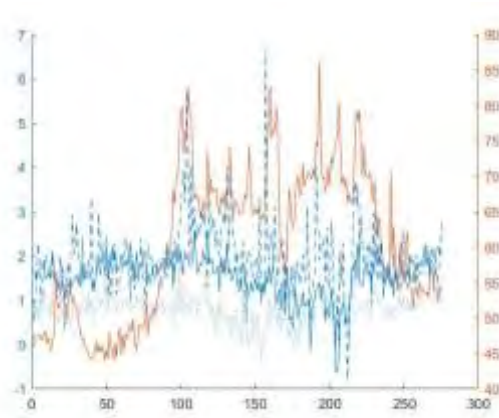
1.根據圖八，發現當分貝值介於 75 到 90 間，溫度差值也會跟著變大，且兩筆資料之間，時間差約為 5 到 15 分鐘

2.根據圖十，可發現以下兩件事。第一，溫度差值於中午時最大。第二，當濕度越高，溫度差值越大。

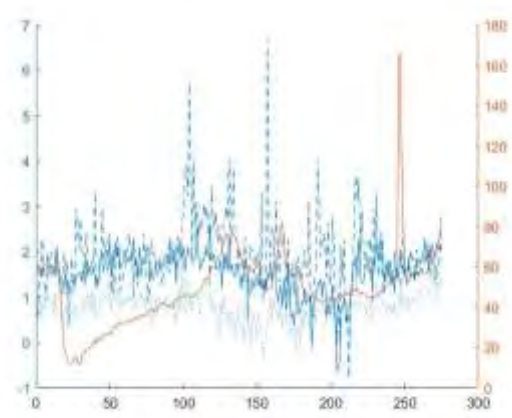


3.而在圖九中，則難以看出 PM2.5 與溫度差值的關聯性。

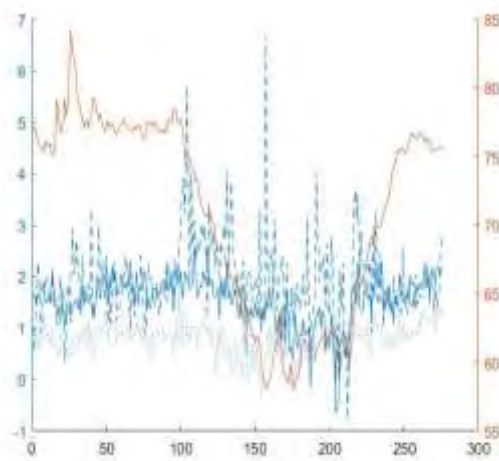
(二)茉莉花(觀察時間為 2019/02/19，圖中藍色曲線為每株植物上所蒐集之三組溫度差值，紅色曲線代表所觀察的環境因子)



圖十一.聲音(分貝)與溫度差值



圖十二.PM2.5 與溫度差值



圖十三.濕度與溫度差值

1.根據圖十一，發現當分貝值介於 75 到 90 間，溫度差值也會跟著變大，且兩筆資料之間，時間差約為 5 到 10 分鐘

2.根據圖十三，可發現以下兩件事。第一，溫度差值於中午時最大。第二，當濕度越高，溫度差值越大。

3.而在圖十二中，則難以看出 PM2.5 與溫度差值的關聯性。

此外，由圖八、圖九、圖十、圖十一、圖十二和圖十三結果，皆可發現一天當中葉片上、下溫度差異約為 2-3 度 C。推測造成此差異主要因為葉片本身對光線的遮蔽，使正常情況下表皮溫度稍低。此外，理論上，在晴天或濕度不高情況下，白天氣孔打開（尤其是中午），夜晚關閉。若依此推論，中午時段的溫度差異會較大，與本實驗結果相吻合。

### 三、茉莉花葉(下)表皮氣孔開閉的大小變化與環境因子的關係

#### (一)氣孔開閉大小數據

表中藍色區域 2019/2/25 的 7 點到 13 點、2019/2/26 的 8 點到 13 點、2019/4/30 的 7 點到 18 點、2019/5/1 的 7 點到 18 點、2019/5/6 的 7 點到 18 點、2019/5/7 的 7 點到 18 點、2019/5/15 的 7 點到 18 點，七個時段茉莉花葉(下)表皮氣孔開閉的大小變化與理論上不符，我們將探討此七個時段的環境因子與其他階段是否有的明顯差異。

	小		大						小	
	7:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	17:00
2月12日								5.00	3.30	2.50
2月15日						2.50				
2月18日				2.50		2.50	5.00			
2月19日						4.20				
2月20日						2.50	2.50			
2月22日			2.50							
2月23日						2.50				
2月25日	2.50				2.50	2.50				
2月26日		2.50				2.50				
2月27日					2.50	2.50				
3月12日						2.50				
3月13日						2.50				
3月15日						8.30				
3月18日	4.20					3.30	3.30			2.50
3月19日	3.30					2.50	5.80		2.50	
3月20日	5.00				5.00	5.80	4.20			
3月21日	3.30					5.80				
3月22日	4.20									
3月27日	4.20					6.70	4.20			
3月29日	5.80					9.20				
4月1日	5.00					7.50				
4月2日	5.00					7.50				
4月3日						6.70				
4月30日	12.50					12.50				12.50
5月1日	12.50					5.00				12.50
5月2日	5.00					12.50				5.00
5月3日	5.00					10.00				5.00
5月6日	12.50					5.00				12.50
5月7日	12.50					5.00				10.00
5月13日	10.00					5.00				2.50
5月14日	2.50					5.00				3.30
5月15日	10.00					2.50				2.50

表三.

註：利用目鏡測微器測量氣孔開閉大小(單位：微米)，表三上側中箭頭為理論上氣孔開閉大小變化(Yun Kang, 2007)

(二)校園中噪音(分貝大小)與環境因子(葉片表面溫濕度、PM2.5)在每個時段的平均數值

	葉片1相對溫度	葉片2相對溫度	葉片3相對溫度	溫度	PM2.5濃度	分貝大小
2019/2/12 14:00	-1.34	-0.95	-0.76	67.73	43.48	50.25
2019/2/12 15:00	-1.77	-1.37	-1.26	69.20	45.80	45.80
2019/2/12 17:00	-1.27	-0.79	-0.71	71.57	7730	43.70
2019/2/15 12:00	-0.98	-1.36	-0.41	64.43	44.00	52.70
2019/2/18 10:00	-0.74	-1.34	-0.21	73.54	4280	77.40
2019/2/18 12:00	-1.24	-1.57	-0.44	72.95	48.00	55.60
2019/2/18 13:00	-1.21	-1.15	-0.51	72.87	5030	56.30
2019/2/19 12:00	-1.08	-1.01	-0.36	74.00	5550	51.10
2019/2/20 12:00	-0.20	-0.54	0.47	80.41	61.00	52.80
2019/2/20 13:00	-0.12	-0.32	0.51	80.90	5780	53.60
2019/2/22 09:00	0.02	-0.43	1.13	76.30	4230	76.40
2019/2/23 12:00	-0.56	-0.75	0.29	72.82	3130	58.90
2019/2/25 07:00	4.58	2.32	2.52	83.23	3030	70.90
2019/2/25 11:00	-0.22	0.27	1.44	97.27	4530	57.40
2019/2/25 12:00	-0.43	-0.19	1.22	96.41	4430	59.30
2019/2/26 08:00	-0.12	-0.72	-0.51	91.69	44.70	72.80
2019/2/26 12:00	-1.05	-0.72	0.52	97.26	3900	57.36
2019/2/27 11:00	-0.81	-0.02	nan	97.71	3350	56.30
2019/2/27 12:00	0.03	0.88	-20.93	92.01	3350	53.50
2019/3/12 12:00	-3.09	-3.16	-1.22	54.17	4550	55.11
2019/3/13 12:00	-4.32	-4.40	-2.46	54.85	53.75	55.11
2019/3/15 12:00	nan	-1.34	-1.03	50.21	5600	16.50
2019/3/18 07:00	-1.36	-2.26	-0.31	63.85	6965	52.50
2019/3/18 12:00	-4.69	-4.53	-2.23	67.07	6567	56.88
2019/3/18 13:00	-3.05	-2.87	-1.04	72.70	7733	52.37
2019/3/18 17:00	-4.04	-3.53	-2.01	70.26	6667	45.72
2019/3/19 07:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2019/3/19 12:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2019/3/19 13:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2019/3/19 16:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2019/3/20 07:00	1.46	1.92	3.83	63.05	4367	77.22
2019/3/20 11:00	-1.93	-1.18	-0.58	76.90	4400	58.41
2019/3/20 12:00	-2.01	-1.37	-0.50	79.52	3300	57.97
2019/3/20 13:00	-2.15	-1.56	-0.97	77.92	2200	55.51
2019/3/21 07:00	-0.47	0.14	2.25	43.87	2650	67.44
2019/3/21 12:00	-2.75	-2.56	-1.40	74.19	3550	55.39
2019/3/22 07:00	-2.20	-2.87	0.36	63.05	4400	70.70
2019/3/27 07:00	-1.42	-1.19	1.32	63.02	4150	76.94
2019/3/27 12:00	-3.94	-3.04	-1.69	74.83	37.75	53.13
2019/3/27 13:00	-3.88	-3.15	-2.01	75.41	40.25	53.82
2019/3/29 07:00	-1.26	-1.84	-0.21	76.92	4050	87.49
2019/4/1 07:00	-3.41	-3.19	-0.31	90.69	16.75	84.27
2019/4/1 12:00	-3.11	-2.35	-0.11	92.69	33.75	63.09
2019/4/20 07:00	-3.58	-4.58	0.28	83.81	81.00	78.47
2019/4/2 12:00	-2.60	-2.13	-0.27	94.01	58.50	58.13
2019/4/3 12:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2019/4/30 07:00	nan	1.015	2.53	83.84	27.75	68.05
2019/4/30 12:00	nan	-2.45	-1.64	75.33	25.50	54.34
2019/4/30 17:00	nan	1.46	1.34	91.75	4	51.81
2019/5/1 07:00	-1.04	-1.66	-1.17	93.48	4	52.73
2019/5/1 12:00	nan	nan	-2.22	94.70	15.25	52.81
2019/5/1 17:00	nan	nan	-3.33	91.68	20.25	48.02
2019/5/2 07:00	-2.55	-3.92	-3.37	99.90	4250	2.50
2019/5/2 12:00	-2.31	-3.44	-3.42	99.90	22.25	1.45
2019/5/2 17:00	-2.03	-2.77	-2.81	99.76	33.75	1.21
2019/5/3 07:00	-2.14	-2.93	-2.65	80.85	26.25	2.82
2019/5/3 12:00	-1.12	nan	-2.21	80.83	21.50	2.66
2019/5/3 17:00	-2.98	nan	-4.08	79.30	33.50	2.34
2019/5/6 07:00	-0.84	-3.87	-2.23	91.83	31.50	0.73
2019/5/6 12:00	-0.82	-2.70	-1.86	93.07	10.75	2.78
2019/5/6 17:00	-0.48	-1.74	-1.57	92.45	21.25	2.34
2019/5/7 07:00	-0.71	-5.10	-3.18	83.07	29.75	3.18
2019/5/7 12:00	nan	nan	nan	89.55	41.50	nan
2019/5/7 17:00	nan	nan	nan	87.00	43.00	nan
2019/5/13 07:00	-0.22	nan	-1.15	58.49	21.25	4.39
2019/5/13 12:00	-0.91	nan	-2.25	60.46	23.00	3.63
2019/5/13 17:00	-1.13	nan	-2.64	74.34	36.00	3.58
2019/5/14 07:00	-0.82	-0.87	-1.55	68.30	33.50	4.84
2019/5/14 12:00	-1.26	-2.27	-2.01	72.28	14.00	3.66
2019/5/14 17:00	-1.57	-2.50	-2.43	79.17	21.25	5.20
2019/5/15 07:00	-1.25	-2.20	-1.53	74.11	15.25	6.97
2019/5/15 12:00	-1.48	-2.62	-2.06	74.93	16.50	7.05
2019/5/15 17:00	-1.10	-2.10	-1.90	81.28	22.00	7.09

表四 (註:表格中數字為數值在一小時內的平均)

根據上表三，藍色區域可以用來解釋，在晴天或濕度不高情況下，植物白天氣孔打開（尤其是中午），夜晚關閉。而 2019/2/25 與 2019/2/26 兩天，則因天氣是陰天(光罩強度弱)且濕度高(表四中粉紅區域)，所以氣孔開啟很小。理論上，濕度與氣孔大小呈現濕度越高(低)、氣孔越小(大)，因隨著環境中濕度的增加，內外蒸氣壓差變小，植物的蒸散作用會減少，所以氣孔的大小會變小。根據文獻資料，氣孔開閉情形可能還受到太陽光照強度、風或土壤濕度等因素的影響。

## 陸、討論

本研究參考國、內外文獻資料，發現大多數關於聲波對於植物生長的研究，都是在一個已設計好的實驗空間內進行。而不同於其他文獻，本研究是利用自製之物聯網溫度分貝儀針對校園內茉莉與番茄植物葉片表面溫濕度、周圍聲音分貝大小及 PM2.5 濃度進行 5~6 個月之數據收集。

根據研究結果一和結果二，發現環境中聲音(分貝大小)升高一段時間後，植物葉面上、下表皮溫度差異(溫度差值)也會跟著變大。理論上，陸生植物的氣孔主要分布在下表皮，且植物蒸散作用愈旺盛，會因植物體內水由液態以氣態型式由下表皮的氣孔蒸散，使植物葉面上、下溫度差異變大。故由此推論，環境中分貝大小會影響植物蒸散作用；當分貝量上升，約為 5 到 10 分鐘後，溫度差異會變大。

此外，本研究也發現環境溼度降低也會造成溫度差值變大；當植物在環境高濕度的情況下，植物葉面上、下表皮溫度差異(溫度差值)不大。最後，本研究無法發現 PM2.5 跟溫度差值之間的關聯性。

根據研究結果三，因為氣孔觀察資料不多，只能粗略探討一些時段的差異，得出的結果亦能證實研究結果一和結果二，即植物的氣孔大小與環境中的濕度呈現出環境濕度越高(低)、氣孔越小(大)的情形。

## 柒、結論

### 一、重要成果:

將目前累積的數據進行分析後，本研究發現當環境中聲音分貝量上升，約過 5~15 分鐘後，溫度差異會變大；當環境濕度變高，植物會因氣孔變小(結果三)，使溫度差異會變小。而溫度差異大小與植物蒸散作用旺盛與否有關。可推知，因環境中聲音(分貝大小)和植物的蒸散作用間具有關聯性，故植物可能有小耳朵。

此外，本研究發現環境中 PM2.5 的濃度和植物的蒸散作用間無關聯性。

### 二、研究價值與展望:

本研究利用較為便宜的自製物聯網溫度分貝儀，即能在日常生活中做長期的數據收集與研究。希望本研究所運用的方法及策略能夠被使用於人們日常生活之中，讓科



學不限於在實驗室內才能進行，而實踐「公民科學」的可能性，以挖掘出更多新發現。

## 捌、參考資料

1. Agata Daszkowska-Golec, and Iwona Szarejko. (2013). Open or Close the Gate - Stomata Action Under the Control of Phytohormones in Drought Stress Conditions. *Frontiers in Plant Science*.
2. Eliot F. Gomez, Magnus Berggren & Daniel T. Simon. (2017). Surface Acoustic Waves to Drive Plant Transpiration. *Scientific Reports*.
3. GENE TECHNOLOGY ACCESS CENTRE. (2016). Measuring Stomatal Density Leaf impression method. *Science and Plants for Schools*.
4. Jennifer C. McElwain and Margret Steinthorsdottir. (2017). Paleocology, Ploidy, Paleoatmospheric Composition, and Developmental Biology: A Review of the Multiple Uses of Fossil Stomata. *Plant Physiology*, 174 (2) 650-664.
5. Michelle Z. Donachue. (2019). Flowers can hear buzzing bees-and it makes their nectar sweeter. *SCIENCE & INNOVATION*.
6. Papiya Bhattacharya. (2015). Global warming makes plants 'sweat' less. *Proceedings of the National Academy of Science text*.
7. Reda H E Hassanien, H. Tian-zhen, LI Yu-feng and LI Bao-ming. (2014). Advances in Effects of Sound Waves on Plants. *Science Direct*.
8. Yun Kang, William H. Outlaw, Jr Giordano B. Fiore Kimberly A. Riddle. (2007). Guard cell apoplastic photosynthate accumulation corresponds to a phloem-loading mechanism. *Journal of Experimental Botany* 58(15-16):4061-70.2007.

## 【評語】 052606

1. 本研究題目為探討環境中噪音對植物蒸散作用的影響，實驗設計包含量測開放環境條件下之上下葉面溫差、環境濕度、噪音分貝及 PM2.5 濃度，主要發現為環境聲音分貝數升高一段時間後，植物葉面之上下表皮溫度差異也會跟著變大，進而推論蒸散作用增強。建議若可以量化植物葉面之上下表皮溫度差異與實際蒸散作用之關係，或是增加量測或估算植物蒸散作用大小之量化數據會更完整。
2. 觀測數據的相關性分析或許可以看到正相關或負相關的訊息，但這些相關性在統計上是否顯著，如何用物理或生理機制來解釋所觀察到的相關性，是讓科學研究成果分析更具說服力的關鍵。
3. 日照輻射量大小是影響蒸發散量大小的最主要因子，但也與環境微氣候的條件息息相關，包含風速、相對溼度、氣溫等等，這些微氣候因子間也相互影響著。
4. 在相同的微氣候條件下，再去分析環境噪音是否產生顯著影響，可能會比較容易釐清所觀察到的差異。建議先從室內實驗在可控制的環境條件下進行實驗以利降低外部干擾變因。
5. 觀測數據的分析因為原始數據的時間解析度較高或儀器靈敏度關係，直接以原始數據分析往往會有許多雜訊，建議可以利用數據分析軟體剔除雜訊，或是取適當時間平均(如小時尺度)後，再來分析其統計上之相關性。



## 摘要

本研究旨在探討環境濕度、聲音分貝大小及PM2.5濃度是否會影響植物的蒸散作用。已知植物蒸散作用旺盛與否與植物葉面上、下表皮(溫度差異)大小有關。本研究除了利用顯微測量技術測量茉莉氣孔的大小之外，並利用自製物聯網溫度分貝儀進行茉莉與番茄葉片表面溫、濕度、聲音分貝大小及PM2.5濃度約六個月之數據收集。本研究將已搜集之資料經分析後，獲得以下結論：(1)當聲音(分貝大小)達到特定範圍時，植物葉面上、下表皮溫度差異會變大；(2)當環境濕度變高，植物會因氣孔變小，溫度差異變小；(3)環境中PM2.5的濃度和植物的蒸散作用間則無關聯性。根據結論(1)，本研究結果推論植物有小小的耳朵。

## 壹、研究動機或目的

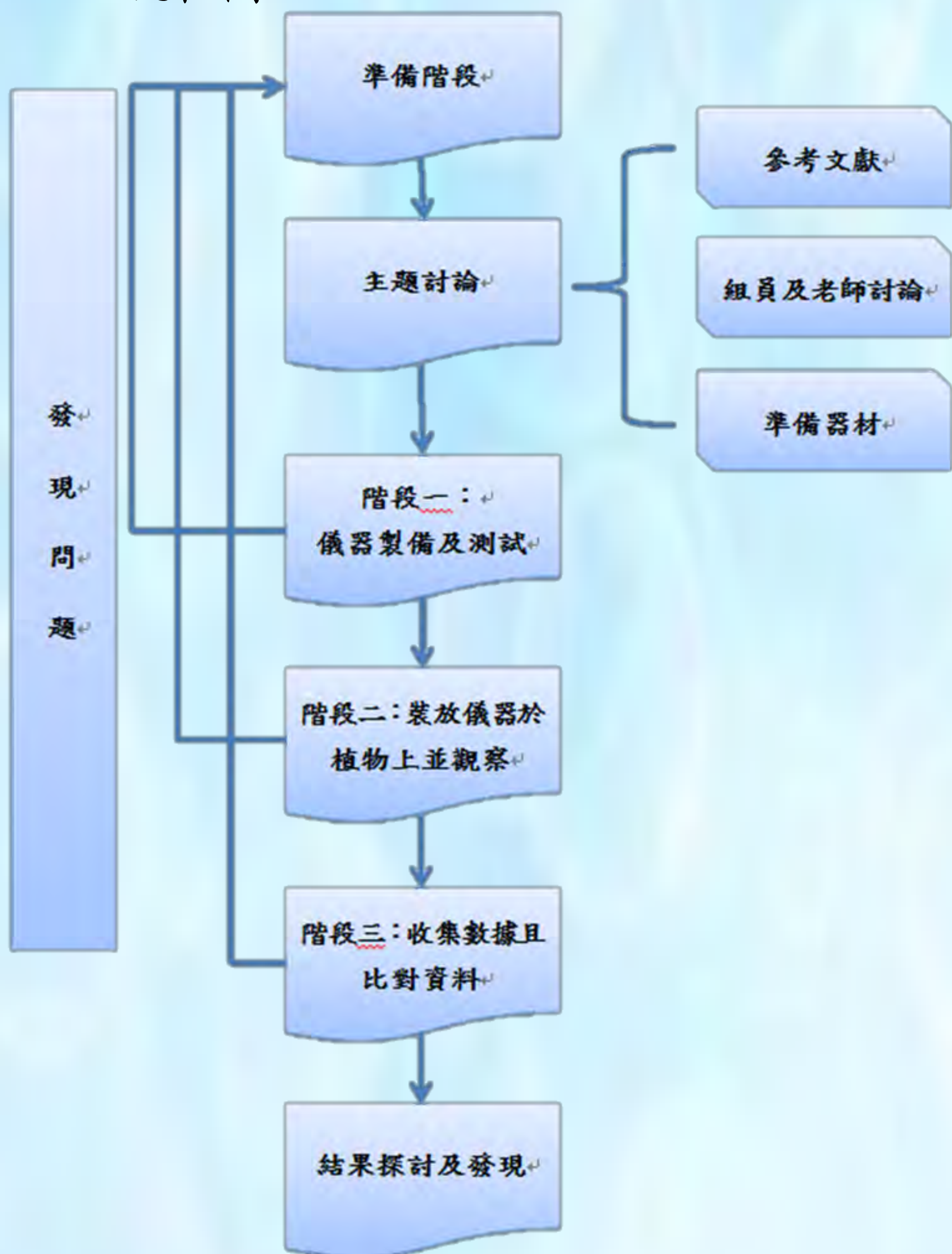
植物在面對環境中各種刺激，例如： $\text{CO}_2$ 或濕度的變化時，最有明顯的改變是植物葉片上由兩個月彎形保衛細胞所圍住的氣孔孔隙大小變化。植物藉由氣孔開閉以進行蒸散作用，調節植物體內水分及 $\text{CO}_2$ 的濃度。本研究主要架設自製之物聯網溫度分貝儀在(多年生草本)茉莉和(一年生草本)番茄的葉片下，並針對環境濕度、植物葉片上、下表皮溫度差值、聲音分貝大小及PM2.5濃度進行數個月(2018年12月26日至2019年6月2日)之數據收集。並透過MATLAB大數據分析軟體進行分析，探討各種環境因子對植物葉片上、下表皮溫度差異的影響。

本研究完成的事項：

- 一、自製實驗用物聯網溫度分貝儀。
- 二、探討校園環境因素(濕度、聲音分貝大小、PM2.5濃度)與植物葉面上、下表皮溫度差值的相關性。
- 三、探討校園環境因素(濕度、聲音分貝大小、PM2.5濃度)與實際測得葉(下)表皮的氣孔大小的相關性。

## 貳、研究過程或方法

### 一、流程圖

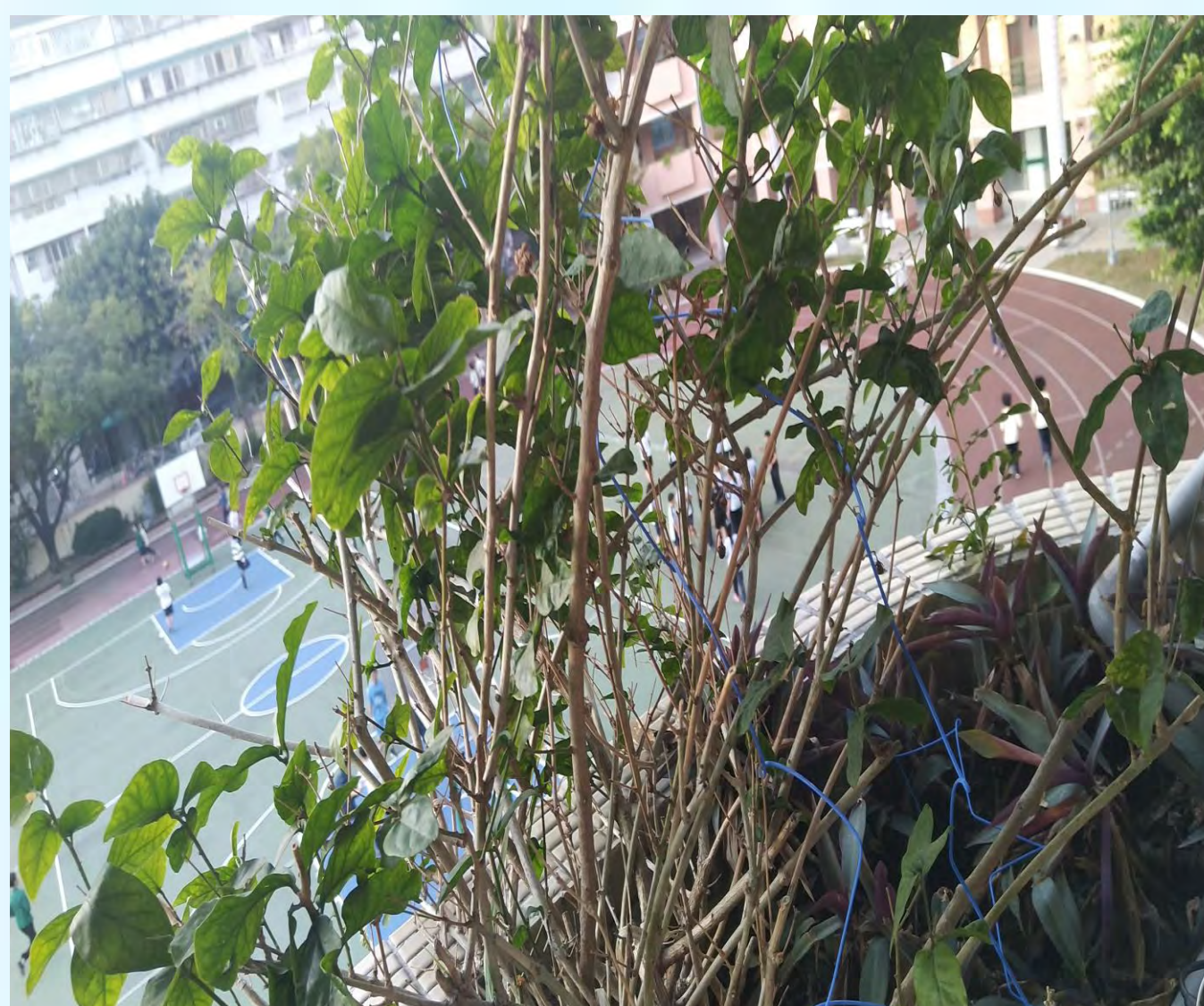


### 二、儀器製備及測試

在研究MAX31855 K型熱電偶模組、聲音感測器及nodeMCU控制板的電路圖及程式碼後便開始電路組裝測試並焊接，焊接完成裝上感測器確認數據是否已正常上傳至網路的數據端(Thinkspeak)，最後再用雷切的外盒做基本防護。

### 三、儀器放置於植物葉片上並觀察氣孔開閉情形

首先，在校園內選定日照充足的地方，選擇了茉莉花和番茄為觀察的兩棵植株，接著將連接MAX31855 K型熱電偶模組的感測線塑膠部分用膠帶沿著植物莖幹黏貼，並把感測線尾端金屬探頭部分置於選定的三片葉子葉(下)表皮正下方，最後再把搜集溫、濕度及PM2.5的儀器放在兩植株中間，就完成了基本布置(圖一)。每天蒐集在不同時段葉片氣孔開閉情形。方法：在固定的一片葉片下表皮，塗上指甲油，待指甲油乾燥後用膠帶黏下已凝固的指甲油層，黏貼於載玻片上，並於複式顯微鏡下用40倍物鏡倍率觀察並記錄，觀察結果見圖二。



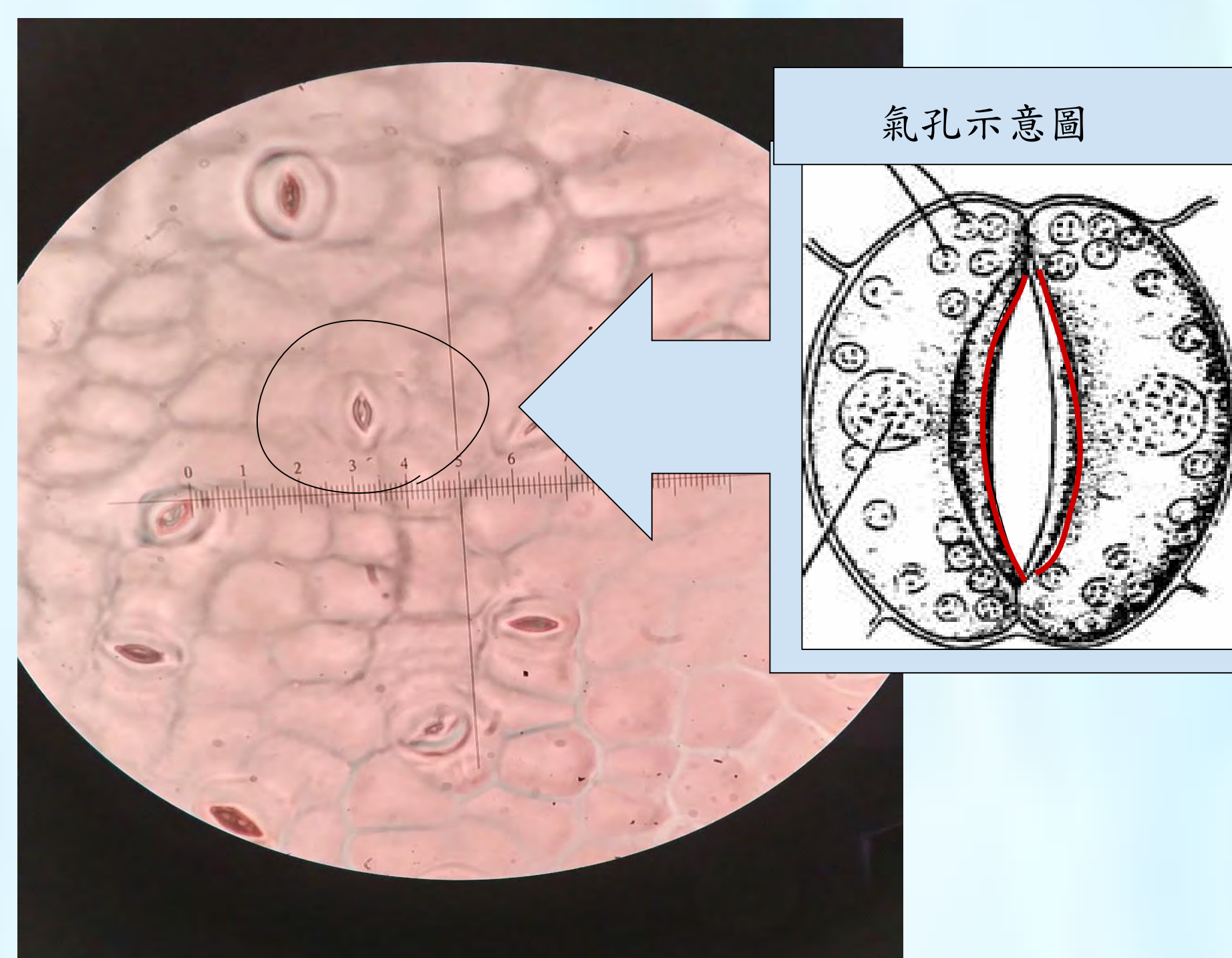
圖一：研究植物：茉莉(左)、番茄(右)

### 四、蒐集數據且比對資料

使用軟體MATLAB，完成下述資料比對工作：

- 1.將數個月的數據做成折線圖，以觀察一段時間下環境因子與溫度差值的曲線變化。
- 2.把每日的植物葉面上、下表皮溫度差值與環境因素(濕度、聲音分貝大小、PM2.5濃度)做成折線圖，欲找出之間的相關性。
- 3.探討所蒐集到的葉(下)表皮氣孔開閉的大小變化是否符合理論(即白天氣孔開啟；夜晚氣孔關閉)。如有不符之處，則針對該時段，探討是否有其它環境因子所影響。

最後歸納上述資料的分析及比對，探討校園中聲音分貝大小與其他環境因子對植物蒸散作用的相對影響性。

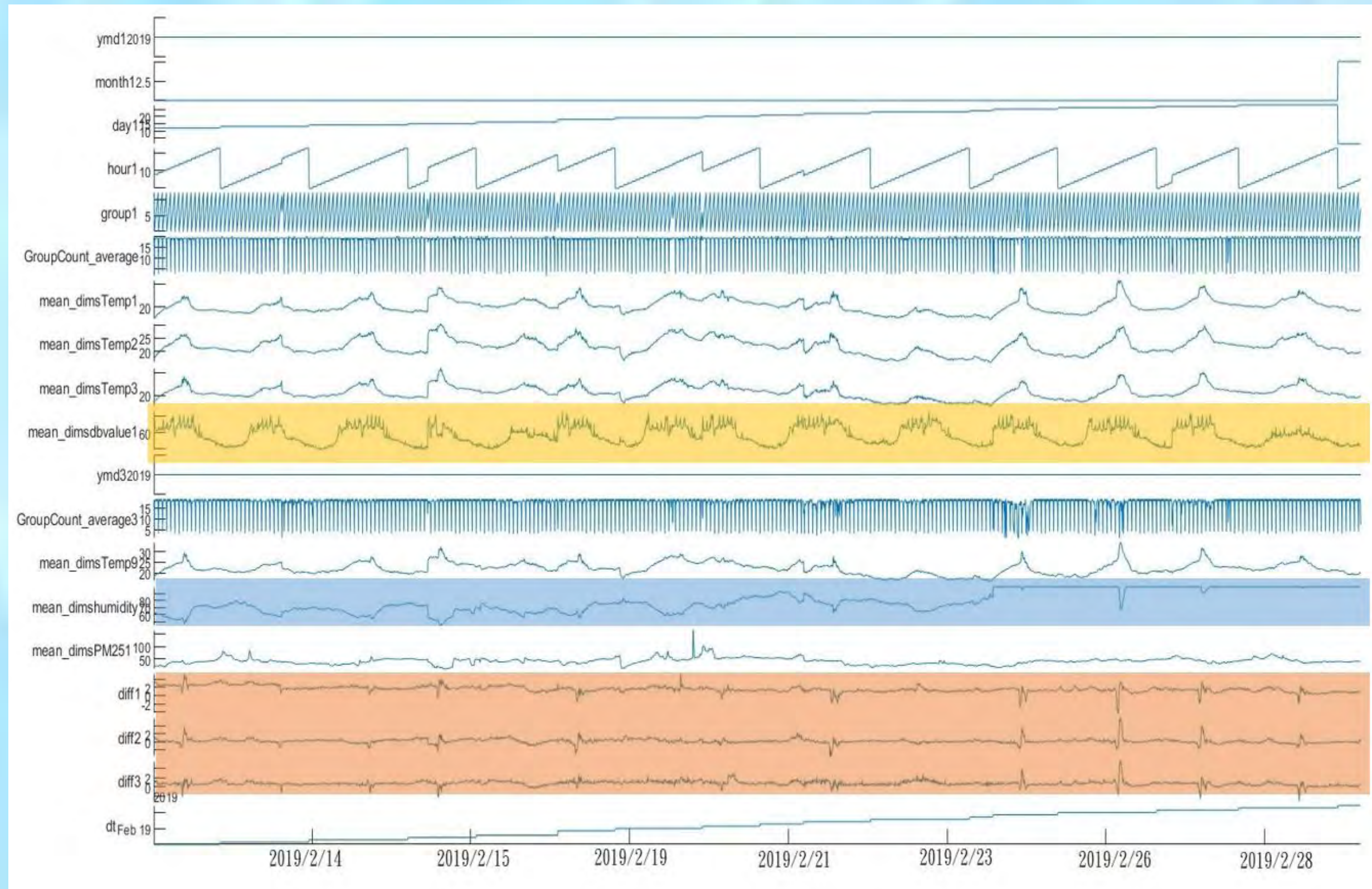


圖二：茉莉花葉下的氣孔分佈與氣孔型態

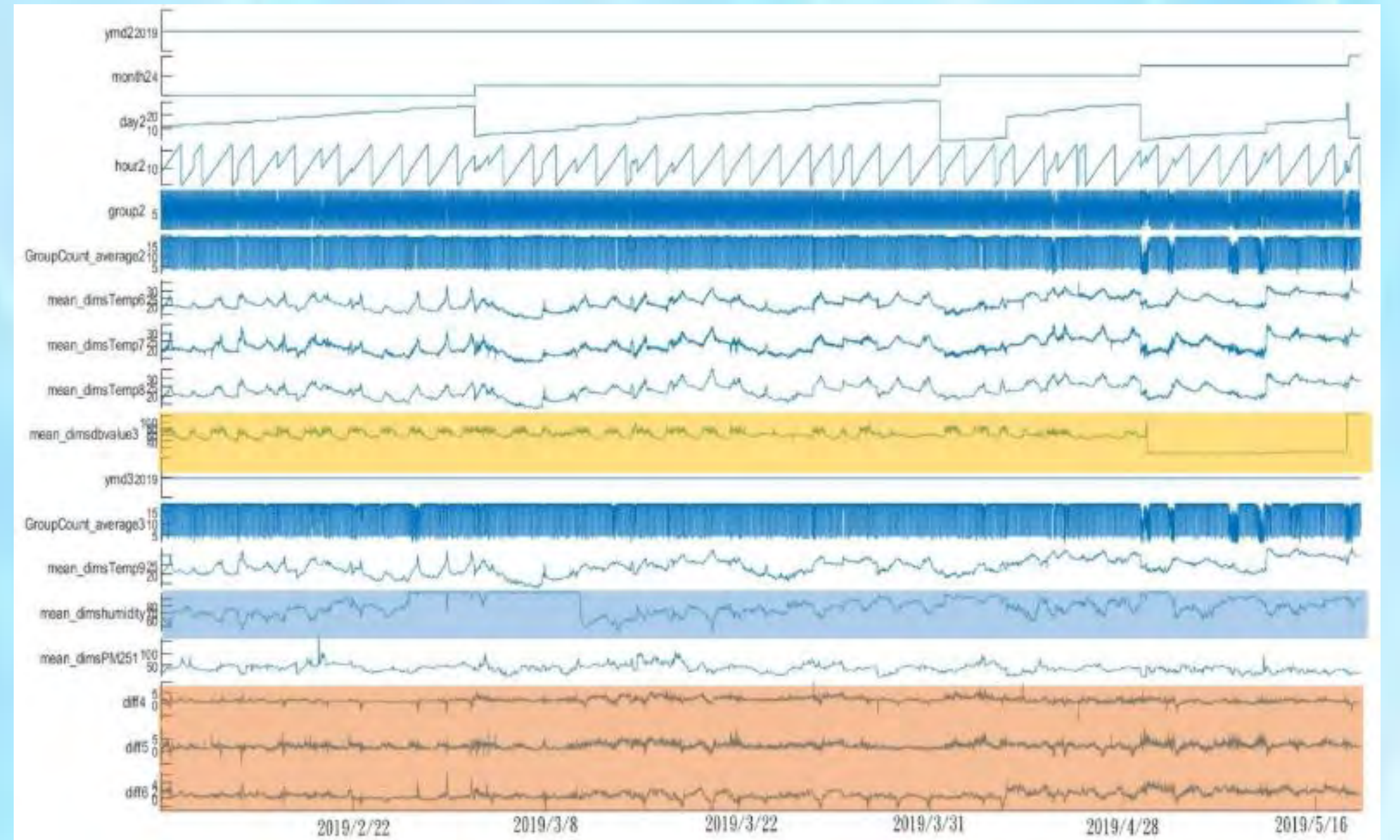


## 一、將所收集到的資料做成折線圖，觀察長期下環境因子與溫度差值的曲線變化

### (一)兩種植栽數月折線圖



圖六、番茄(2018/12/26至2018/03/01)



圖七、茉莉花(2019/01/24至2019/06/03)

(註:黃色區塊表示分貝大小,藍色區塊表示濕度,粉色區塊表示溫度差值,藍跟粉紅區塊中間的曲線則為PM2.5的曲線)

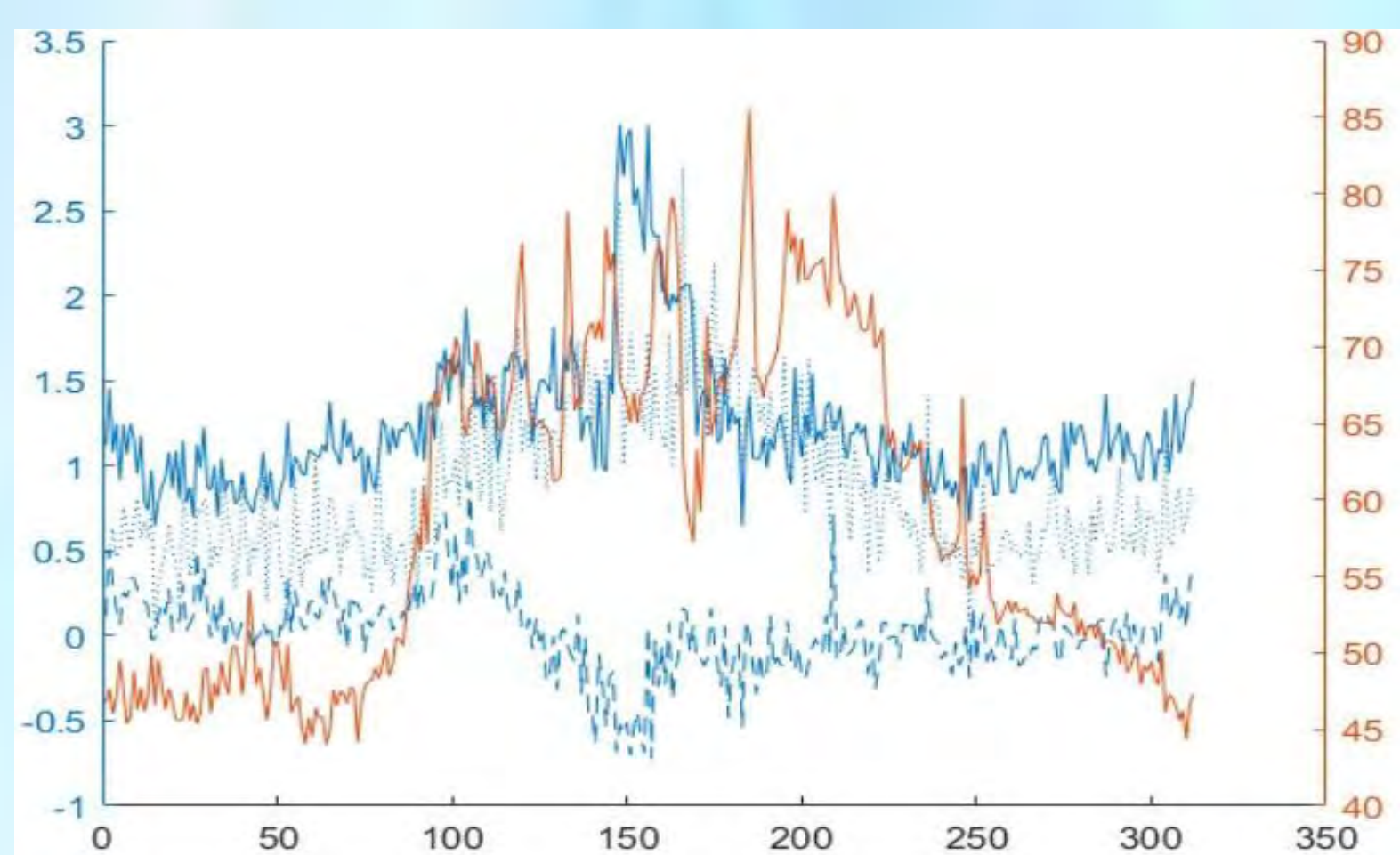
- 1.由圖六、七可得知,當聲音分貝大小(黃色區塊)變大後一段時間,溫度差值(粉色區塊)會跟著變大;當濕度曲線(藍色區塊)下降,則溫度差值(粉色區塊)亦跟著變大。由此可證實濕度低時,蒸散作用旺盛,因此溫度差變大。此外,也可以初步推測,聲音分貝大小會影響溫度差值。
- 2.在圖六、七中,無法觀察到PM2.5曲線與溫度差值曲線呈現相關性。

## 二、把每日的溫度差值分別與環境因子做成折線圖,試發現相對的影響關係

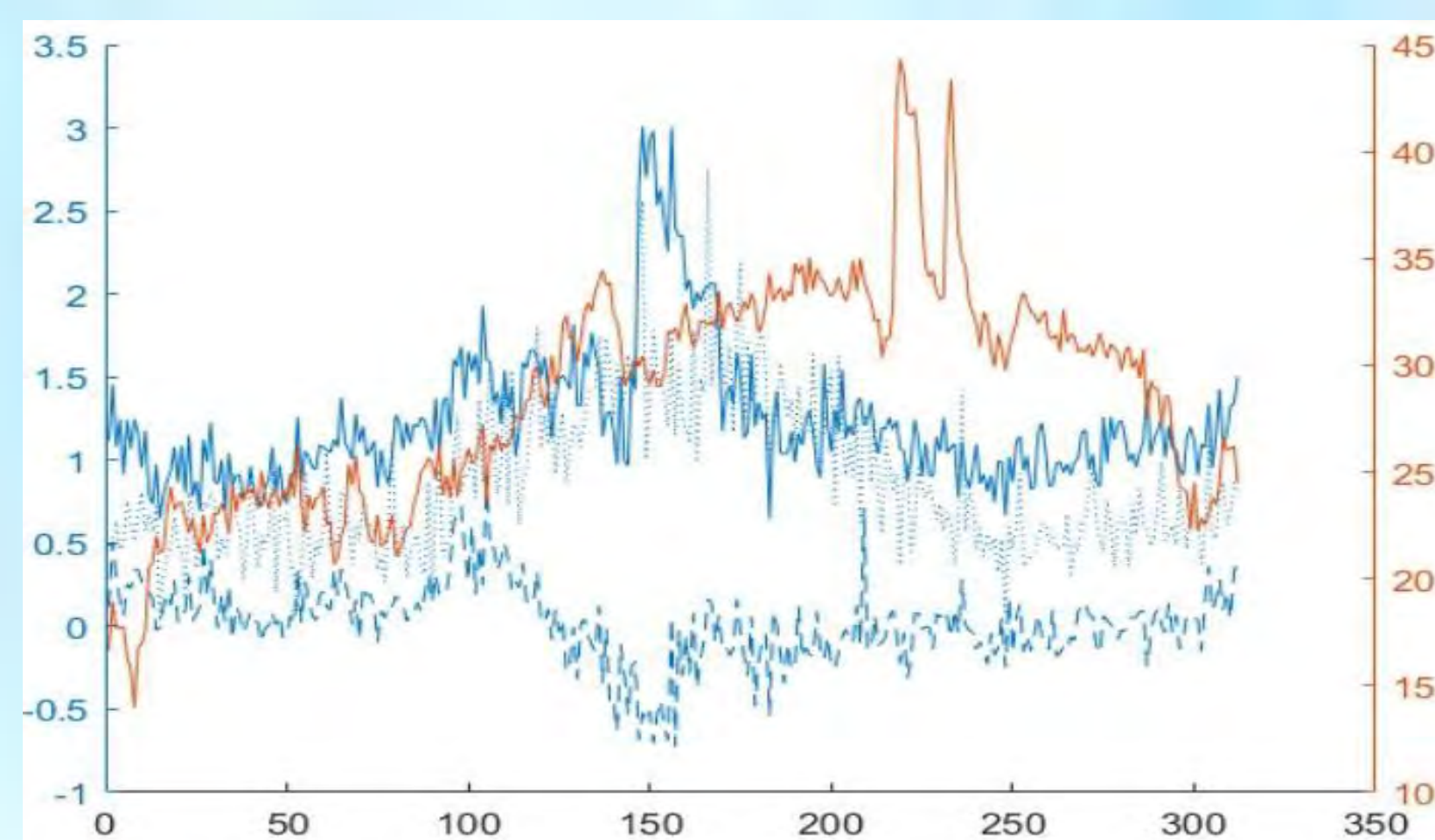
(以下的討論結果,是基於除了所列出的觀察時間外,加上其他天的資料所得出的結果)

### (一)番茄

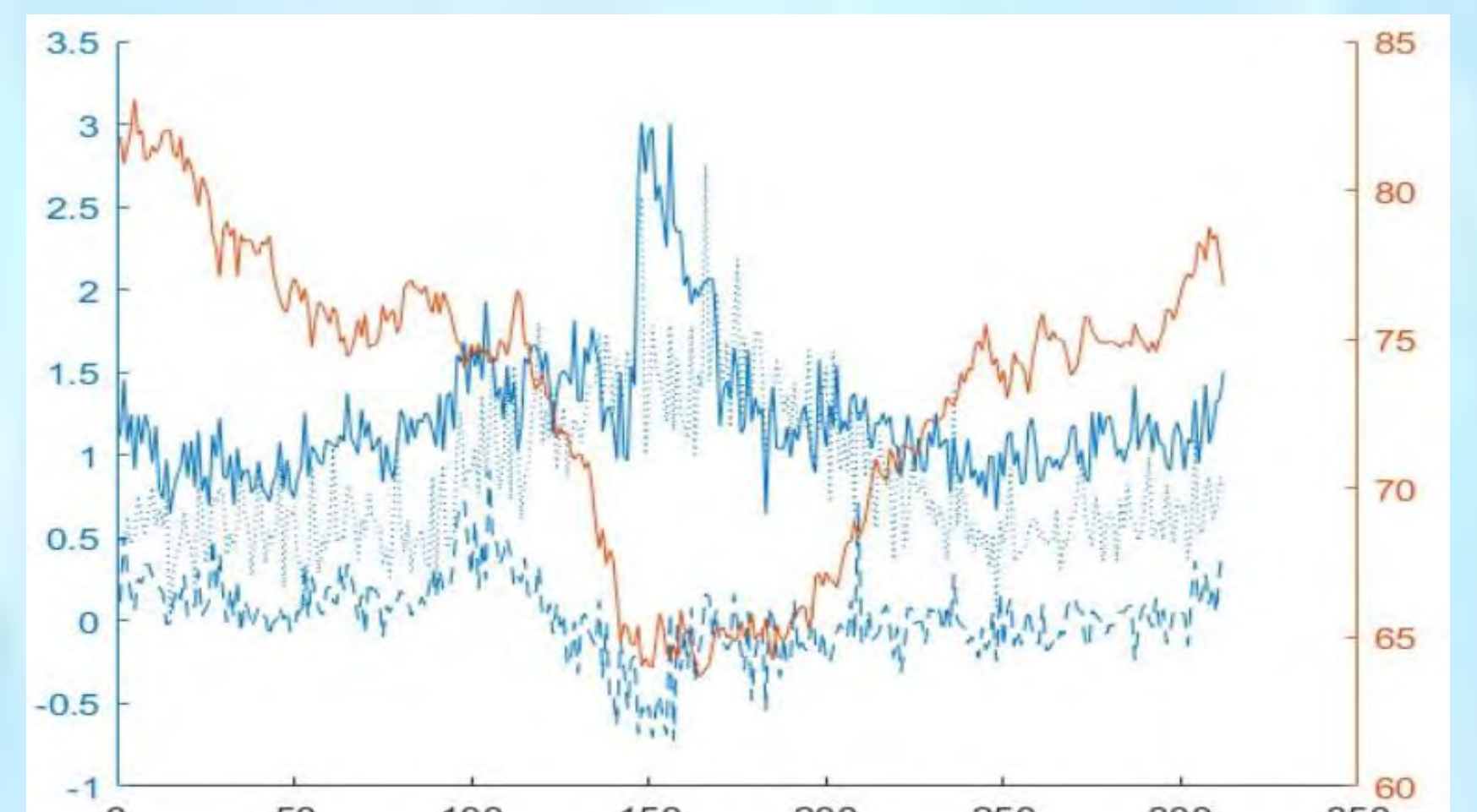
觀察時間為2019/02/23,圖中藍色曲線為每株植物上所蒐集的三組溫度差值,紅色曲線代表所觀察的環境因子



圖八、聲音分貝大小與溫度差值



圖九、PM2.5與溫度差值



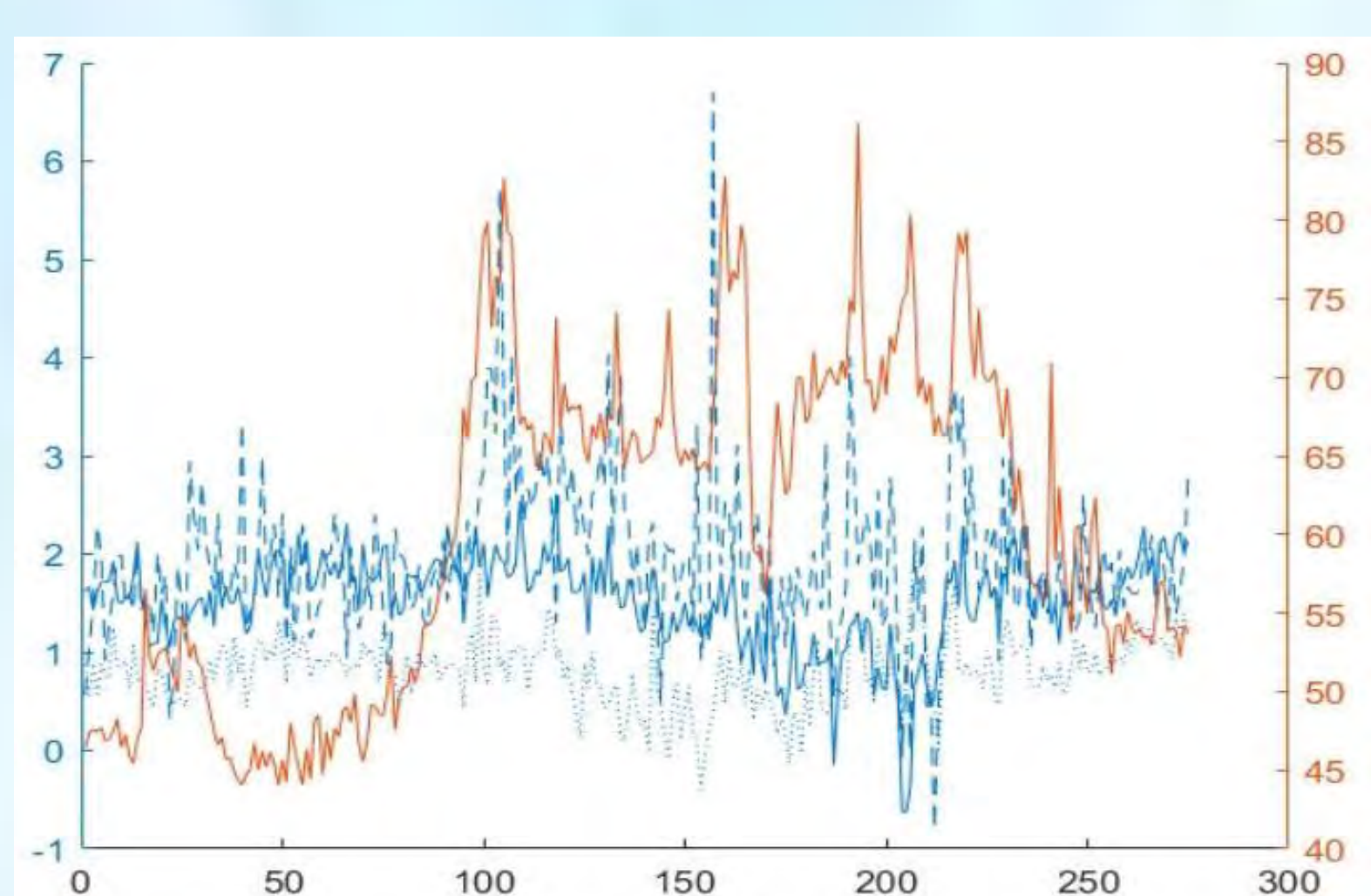
圖十、濕度與溫度差值

(註:在圖八、圖九、圖十中,由上往下的第三條溫度差值曲線,因感測線脫落,所以不列入觀察)

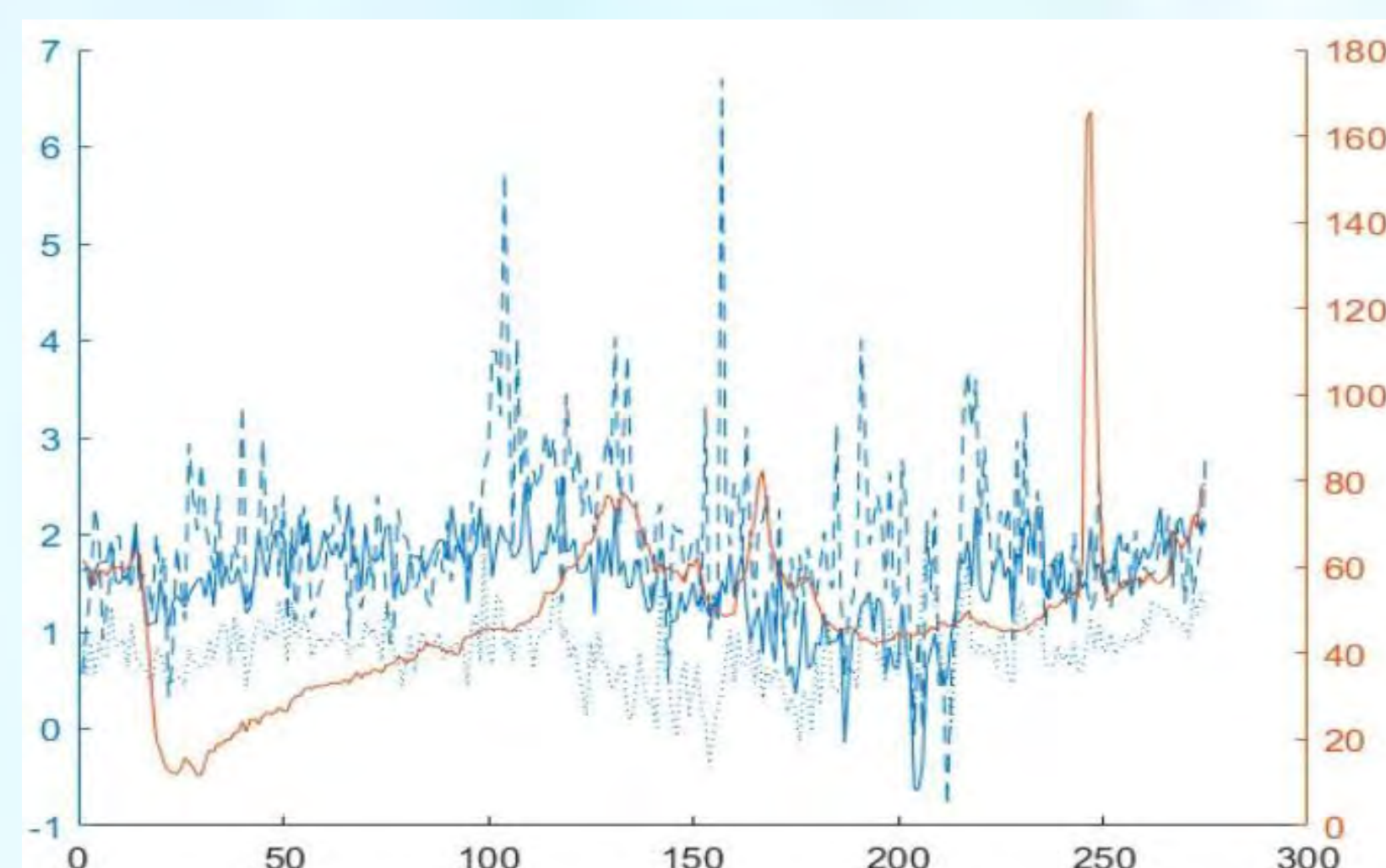
- 1.根據圖八,當聲音分貝值介於75到90間,溫度差值隨後也會跟著變大,時間差約為5到15分鐘。
- 2.根據圖十,可發現溫度差值於中午時最大;當濕度越高,溫度差值越大。
- 3.根據圖九,無法觀察到PM2.5與溫度差值曲線呈現相關性。

### (二)茉莉花

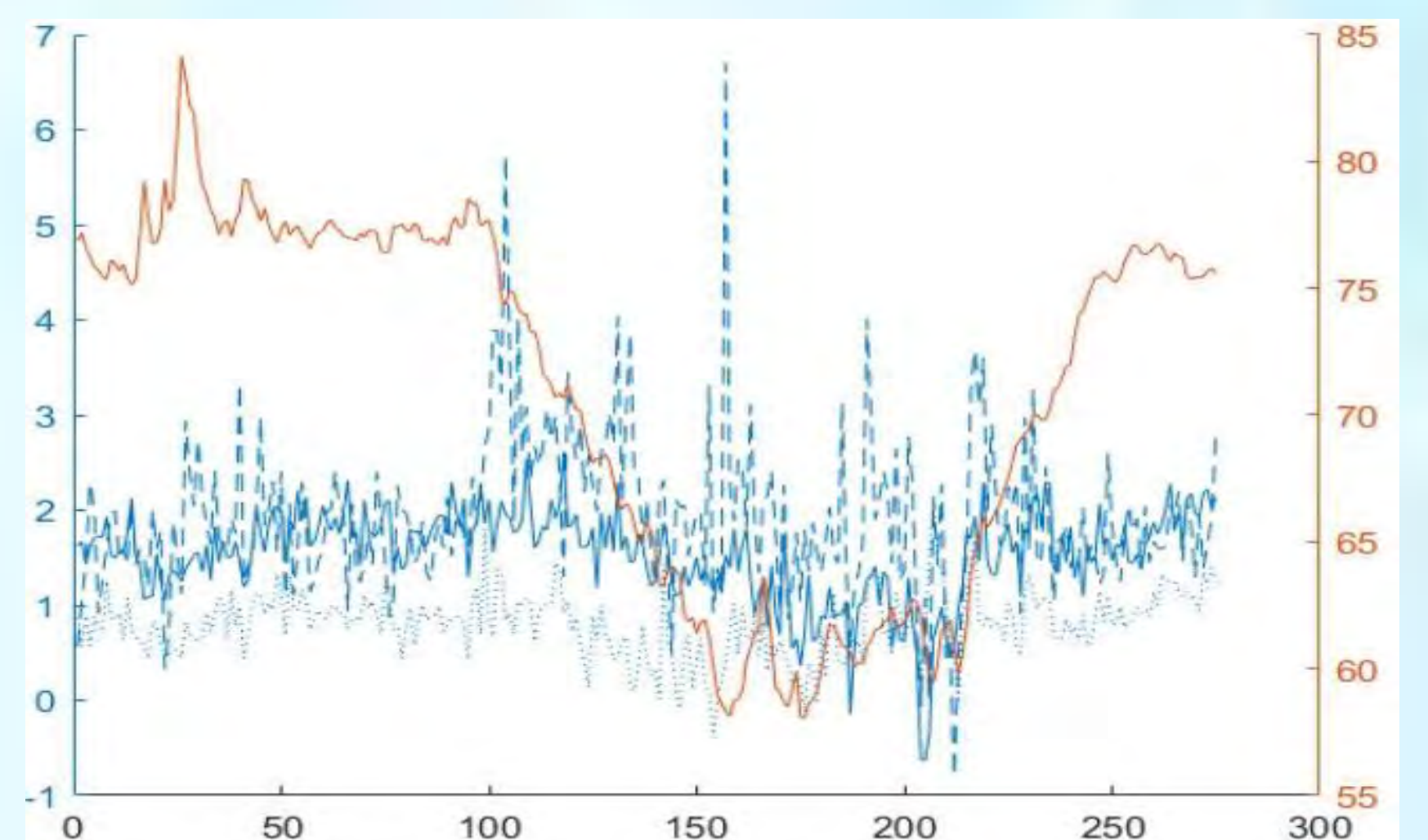
觀察時間為2019/02/19,圖中藍色曲線為每株植物上所蒐集的三組溫度差值,紅色曲線代表所觀察的環境因子



圖十一、聲音分貝大小與溫度差值



圖十二、PM2.5與溫度差值



圖十三、濕度與溫度差值

- 1.根據圖十一,當聲音分貝值介於75到90間,溫度差值隨後也會跟著變大,時間差約為5到15分鐘。
- 2.根據圖十三,可發現溫度差值於中午時最大;當濕度越高,溫度差值越大。
- 3.根據圖十二,無法觀察到PM2.5與溫度差值曲線呈現相關性。

此外,由圖八、圖九、圖十、圖十一、圖十二和圖十三結果,皆可發現一天當中葉片上、下溫度差異約為2~3°C。推測造成此差異主要原因為葉片本身對光線的遮蔽,使正常情況下表皮溫度稍低。此外,理論上,在晴天或濕度不高情況下,白天氣孔打開(尤其是中午),夜晚關閉。若依此推論,中午時段的溫度差異會較大,與本實驗結果相吻合。



