

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

(鄉土)教材獎

032809

Urgency! Urgency! 水深火熱中

學校名稱：臺南市立下營國民中學

作者： 國二 徐寬奇 國二 李銘哲 國二 陳俊斌	指導老師： 楊孟勳 周育信
---	-----------------------------

關鍵詞：滯洪、氣霧耕、Arduino

摘要

本研究主要探討如何設計出兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置設計。

首先，針對氣候變化進行探討，發現台灣目前降雨量逐年增加的情況並不明顯，但降雨有集中在一個月的 2-3 天的現象，大量集中的降雨宣洩不及甚至回堵，使得原不會淹水的地區亦發生洪患，而氣溫變化部分也有越來越常出現高溫日的現象。

其次，就滯洪需求部份以高度 500mm 加上風吹不傾倒設計儲水容器，並利用超音波感測水位高度發出警戒訊息，並進行蓄洪排洪程式設計。接著，就綠屋頂部分最佳栽培條件為粒徑 4-8mm 之發泡煉石、提供氣霧維持濕度 95% 之供水方式種植高度 60-75 公分植栽。

最後，將研究獲得的各種資訊整合設計後製作出綠色屋頂裝置。

壹、研究動機

一、雨勢又急又大，淹水災情頻傳

去年的 8 月 23 日是令人印象深刻的一天，猛烈的大雨除了讓人感受到「雨彈」轟炸的威力之外，從小到大沒淹過水的社區淹起了大水，甚至有人的房屋因此滅頂，大家一夜驚魂，而大水退去後的社區更顯得一片狼藉，慘不忍睹！而經過新聞事件收集與跟長輩訪談，發現這幾年來降雨有越來越集中且大量的趨勢，對於該如何適應這樣的氣候變遷非常令人擔心！

二、氣溫屢破新高，熱危害事件不斷

一年級時，我們教室在學校的最高樓層 3 樓，從 3 月開始，天氣從寒冷一下子轉為酷熱，教室內電扇再怎麼努力地轉動，吹出來的總是令人快要窒息的熱風！一次又一次，氣象報導不斷更新「氣溫又一次破新高」、「氣溫再一次破百年來最高溫」等資訊，到了 6 月甚至還有人因為天氣太熱死亡的消息傳出，而各國政府單位更紛紛開始研擬放高溫假的規範。

從以上兩方面的了解，發現人類生存的環境條件似乎越來越嚴苛，因此，這次的科學研究試圖從氣象數據了解氣候變遷的現況，並尋求可行的調適方法。

作品與康軒版自然與生活科技教材相關部分有第二冊第五章、第二冊第六章、第四冊第六章、第六冊第三章等章節。

貳、研究目的

- 一、了解目前降雨變化的情形。
- 二、設計出具有滯洪及警戒能力的智慧屋頂儲水裝置。
- 三、了解目前氣溫變化的情形。
- 四、設計出具有隔熱及生態平衡能力的智慧綠屋頂裝置。
- 五、設計出兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的智慧綠屋頂裝置。

參、研究設備及器材

一、研究器材（如表 3-1、實驗器材一覽表）

塑膠桶	定植籃	水管	剪刀杜邦線
捲尺	鐵絲	白熾燈 250W	實驗用鐵架
防水膠帶	鉸槍	發泡煉石(5 種粒徑)	土芭樂樹(2 種高度)

二、實驗設備（如表 3-2、實驗設備一覽表）

行動電話	電子秤	常閉式電磁閥	電腦
Arduino Uno R3	溫溼度感測 DHT-11	ESP8266 WiFi	超音波感測器
藍芽 HC-05	繼電器	行動電源	霧化器

肆、研究過程或方法

- 一、發展研究架構
- 二、文獻探討
- 三、近年降雨變化情形分析。
- 四、具滯洪及警戒能力的智慧屋頂儲水裝置設計。
- 五、近年氣溫變化情形分析。
- 六、具隔熱及生態平衡能力的智慧綠色屋頂裝置設計。
- 七、兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置設計。



圖 4-1、小組研究實作過程情形

伍、研究結果與討論

一、建立研究架構

經過一連串的资料查詢後，我們開始設計本次研究的基本架構，並且隨著實驗討論的進行隨時修正架構，以下是我們這次研究的整體研究架構。

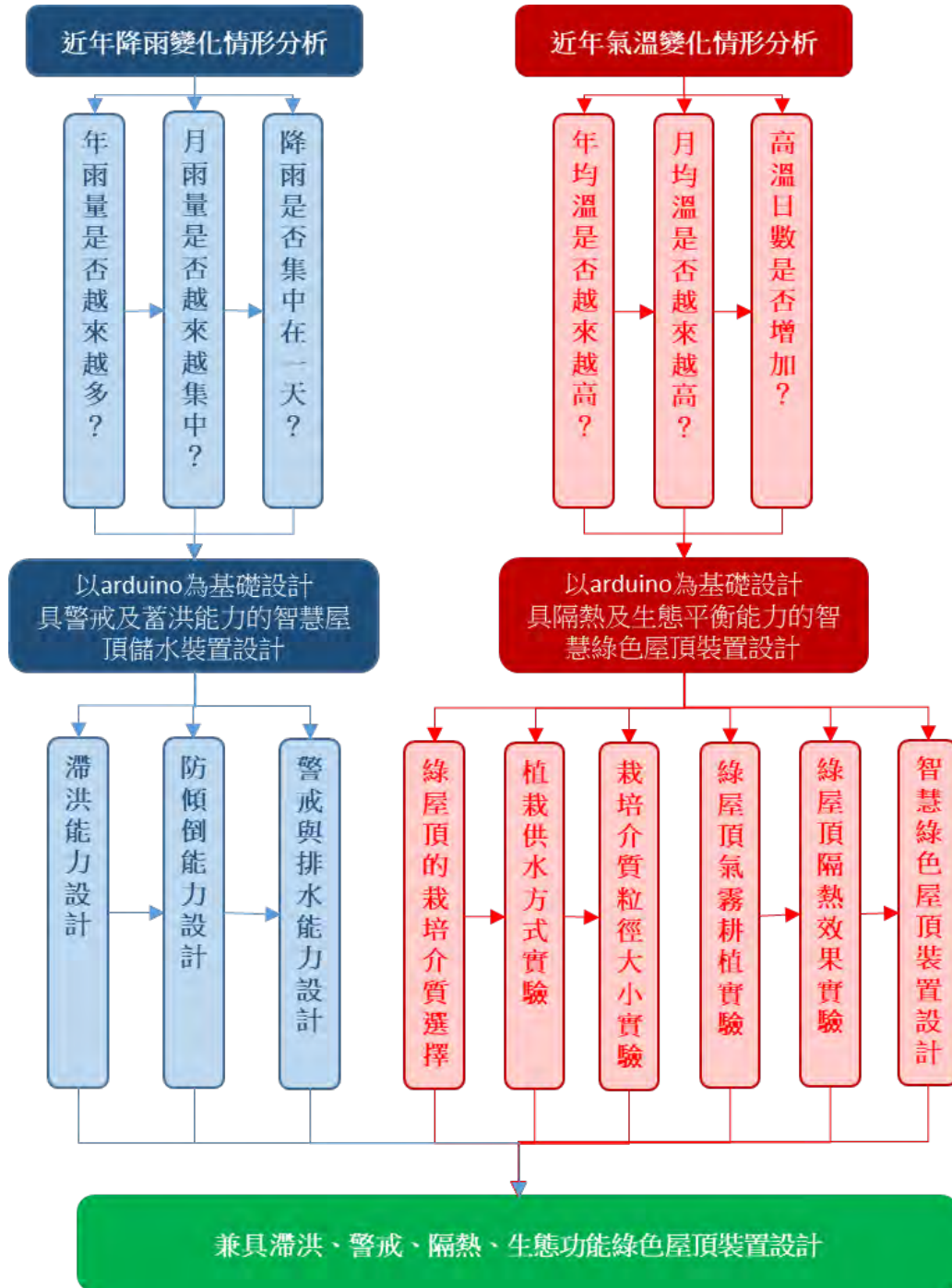


圖 5-1-1、研究架構圖

二、文獻探討

(一) 建築物滯洪設備

都市開發造成不透水鋪面增加，使得地表逕流量增加，為了降低洪峰流量、遲滯洪峰到達時間或增加入滲等功能，滯洪成為防洪重要的一項設施，目前建築物滯洪設備(雨水貯留)大略可分為以下四種形式(如圖 2-1-1 所示)。

1. 地面下式：於基地閤基或地下室設置雨水貯留池體，作為基地雨水蒐集貯留暫置空間，再行抽排至公共管線。
2. 地面式：基地地面層之空地、花台、停車位或基地內造景或建築設計之基地高低落差，作為雨水短時間貯留空間。當雨水所累積量超過基地地面滯留空間時，則可藉由預留孔口或自然滿溢現象排放至公共排水溝。
3. 內部式：主要在基地內部之水平裸露面—如頂樓屋頂、露台、陽台等作為雨水短時間貯留空間。其出口處設置比原排放管斷面較小之孔口或管路，當出口斷面排水速度無法滿足降雨量時，則短時間過量雨水自然在建築體內部滯留，當降雨緩和後，內部滯留亦會慢慢消散。
4. 其他式：除了上述三種形式外，亦有將基地申請範圍之周邊採矮牆周邊環境成落差阻隔，或以空心磚牆內置貯水格方式，使基地內之雨水自然先集流在牆內空間，再藉由滲流或機械方式抽排至公共排水溝。



圖 2-1-1 建築物滯洪設備形式 (摘自新北市政府水利局, 2012)

依據放流量方式則可區分為壓力流、重力溢流及機械抽排等三種類型。

1. 壓力流：採用管流方式連通雨水貯留滯洪設施與公共排水系統，當基地內雨水貯留滯洪設施之滯留水深之總水頭高過於公共排水系統之總水頭，則過量之貯留雨水可藉由壓力水頭所產出之動能流速，將雨水自然排放出去。
2. 重力溢流：主要採用開放孔口或管路之方式連通至公共排水系統，當基地內雨水貯留滯洪設施之滯留水位高度高過於公共排水系統之水位，則過量之雨水貯留可藉由重力溢流，將雨水自然排放出去。
3. 機械抽排：貯留池設置於地面下需藉由機械設備將雨水排放。

(二) 綠屋頂

1. 常見的綠屋頂種類：綠屋頂分成「薄層式」、「盆鉢式」、「庭院式」三種類型，受限於建築物的載重量和排水等因素，不能隨意施作。



圖 2-1-2 常見的綠屋頂種類（摘自內政部建築研究所·屋頂綠化技術手冊）

2. 綠屋頂的好處：

(1)增加都市的綠化率、美化環境	(6)隔濾懸浮微粒（滯塵）、淨化空氣
(2)都市降溫、減少輻射、消除熱島效應	(7)調節截留雨水、淨化用水
(3)屋頂保溫隔熱、節約能源	(8)隔絕噪音與防範火災
(4)保護建築結構、延長使用壽命	(9)創造生物多樣性與生物棲息環境
(5)固定二氧化碳、達成減碳目標	(10)提供休憩、療癒、教育與園藝空間

3. 綠屋頂失敗的原因：綠屋頂施作常有失敗的例子，最常見的原因有以下四點。

(1)一般土覆土造成屋頂超重及積水。	(3)防水層失效，造成屋頂漏水。
(2)栽培介質顆粒過小又輕容易流失，有機質含量過高雜草除不完。	(4)沒做阻根使得植物的根系損害防水層，造成屋頂漏水。

三、近年降雨變化情形分析

本研究從政府資料開放平台下載台南雨量站 2010~2018 年等 9 年之每日降雨量做為水文分析之研究資料，以了解近年降雨變化情形。

(一) 2010~2018 年等 9 年之年雨量分析

1.提出問題：每年的年雨量是否越來越多？

2.定義：

(1)年雨量(annual rainfall, ARF)：一年中雨量的總和，單位為 mm。

(2)年總雨量(ARF_{total})：近九年年雨量的總和，單位為 mm。

(3)年雨量比率(ARF_{ratio})：單位為%。

$$ARF_{ratio} = (ARF / ARF_{total}) * 100 \dots \dots \dots \text{式(5-3-1)}$$

3.研究步驟：

(1)利用電腦軟體 Excel 分別將每年之日雨量加總，計算出年雨量(ARF)。

(2)將九年的年雨量加總，計算出九年的總年雨量(ARF_{total})。

(3)根據式(5-3-1)計算各年之年雨量比率(ARF_{ratio})。

(4)繪製成折線圖觀察分布情形，並繪製平均線與趨勢線協助了解分布趨勢。

4.研究結果：近九年年雨量分布情形如圖 5-3-1 所示。

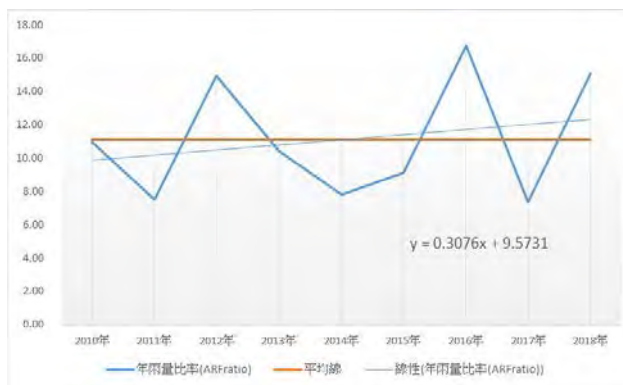


圖 5-3-1 近九年年雨量分布百分比折線圖

5.研究討論：

(1)將年雨量分布比率折線與平均線進行比較，發現呈現高低波形，而週期有變小的現象，其中是否有特殊的含意，值得進行進一步的探討。

(2)觀察趨勢線以對數據變化進行了解，發現趨勢線呈現右高左低，可以推測年雨量有漸增的趨勢，但就斜率數字(0.3076)看來，增加的幅度並不顯著。

(二) 2010~2018 年等 9 年之逐月雨量分析

1.提出問題：每年的月雨量是否越來越集中？

2.定義：

(1)月雨量(monthly rainfall, MRF)：一個月雨量的總和，單位為 mm。

(2)年雨量(annual rainfall, ARF)：一年中雨量的總和，單位為 mm。

(3)月雨量比率(MRF_{ratio})： $MRF_{ratio} = (MRF / ARF) * 100\%$式(5-3-2)

3.研究步驟：

(1)利用電腦軟體 Excel 分別將每年每個月之日雨量加總，計算出月雨量(MRF)。

(2)將每年的月雨量加總，計算出當年的年雨量(ARF)。

(3)根據式(5-3-2)計算各年之月雨量比率(MRF_{ratio})，繪製成長條圖觀察分布情形。

4.研究結果：近九年月雨量分布比率情形如圖 5-3-2 所示。



圖 5-3-2 近九年月雨量分布比率情形

5.研究討論：

- (1)從圖 5-3-3 發現自 2010 年至 2012 年整年雨量主要落在 6、7、8 月，這三個月每月降雨佔全年降雨比率在 15%-35%間。
- (2)自 2013 年起，降雨明顯集中在一個月(如下表 5-3-1)，且當月月雨量比率(MRF_{ratio})超過 40%，由此可知，自 2013 年開始發生明顯降雨集中的現象。

表 5-3-1 2013 至 2018 年雨量集中月份及月雨量比率 MRF_{ratio} 表

年份	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
雨量集中月份	8 月	8 月	8 月	9 月	7 月	8 月
月雨量比率 MRF _{ratio} (%)	47.76	53.79	42.51	44.85	42.41	53.10

(三) 2013~2018 年等 6 年之日雨量分析

1.提出問題：降雨是否集中在一天？

2.定義：

- (1)日雨量(daily rainfall, DRF)：一日雨量的總和，單位為 mm。
- (2)月雨量(monthly rainfall, MRF)：一個月雨量的總和，單位為 mm。
- (3)日雨量比率(DRF_{ratio})：單位為%。

$$DRF_{ratio} = (DRF / MRF) * 100 \dots \dots \dots \text{式(5-3-3)}$$

3.研究步驟：

- (1)根據表 5-3-4 所列，從下載資料取得當月日雨量(DRF)。
- (2)利用電腦軟體 Excel 分別將每年每個月之日雨量加總，計算出月雨量(MRF)。
- (3)根據式(5-3-3)計算各年之日雨量比率(DRF_{ratio})，繪製成長條圖觀察分布情形。

4.研究結果：

(1)2013-2018 年雨量集中月份日雨量分布比率情形如圖 5-3-3 所示。

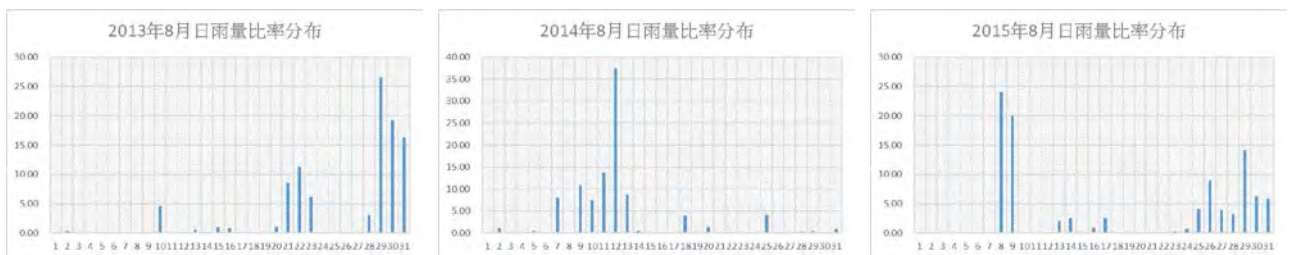




圖 5-3-3 2013-2018 年雨量集中月份日雨量分布比率

5.研究討論：

從圖 5-3-3 發現，各年雨量集中月份的逐日降雨情況亦呈現集中降雨現象，一次大型降雨即降下整個月雨量的一半(50%)以上。

根據以上研究，發現台灣目前的降雨量逐年增加的情況並不明顯，但是，近年來降雨有主要集中在一個月的 2-3 天的現象，亦即一整年的降雨有近 1/4 的雨量在 2-3 天內下完，大量且集中的降雨不及宣洩甚至回堵，使得原本不會淹水的地區亦發生洪患；以圖 5-3-4 為例，實際淹水區域較災害潛勢圖預估地區多且嚴重，乃因當時將軍溪及曾文溪水位高漲，原本應分別從將軍溪支流與麻豆大排排出的雨水無法排出，累積造成整個區域積水。

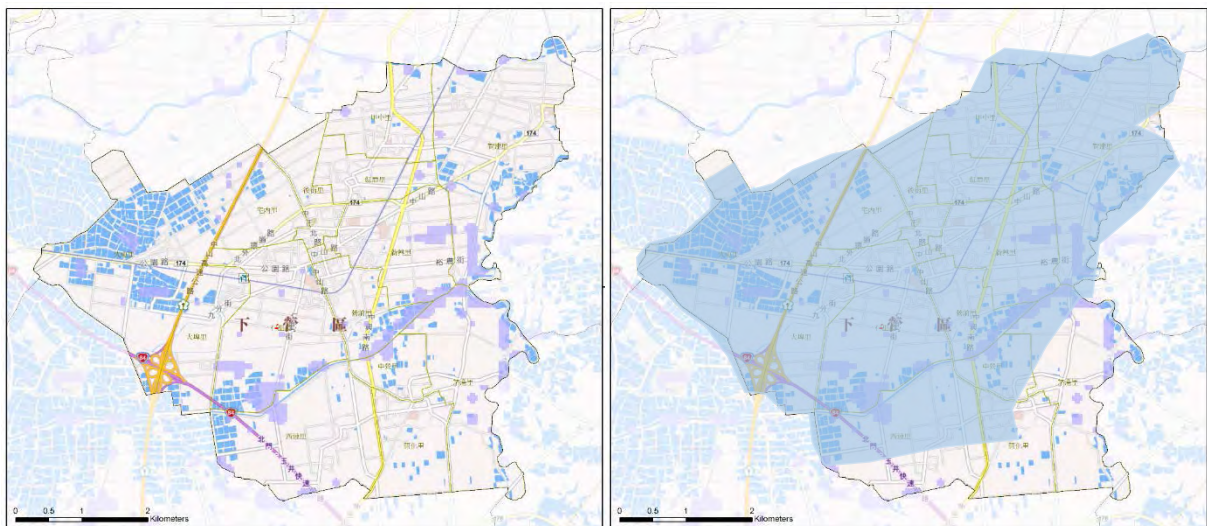


圖 5-3-4 日雨量 350mm 之災害潛勢圖與 2018 年 8 月 23 日實際淹水區域圖(區公所提供)

因此，在這樣的情況下，我們希望研究出能在大雨來襲時儲存住雨水的裝置，以避免無法宣洩的雨水四處溢流，形成水災。

四、具滯洪及警戒能力的智慧屋頂儲水裝置設計—以 Arduino 為基礎

當暴雨來臨時，滯洪池藉其蓄水容量，可將短時間的洪峰逕流貯存於池中，以穩定的流量放流，使尖峰逕流量減低及延後，因此，本次實驗希望可以設計出具有滯洪及警戒能力的儲水裝置，因此，分成三個部分來討論，並進行研究。

(一) 儲水裝置的滯洪能力設計

1.提出問題：儲水裝置的滯洪高度需要多高？

2.定義：

最高日雨量(maximum daily rainfall, DRF_{max})：當年日雨量的最高值，單位為 mm。

3.研究步驟：

(1)根據表 5-3-4 所列，從下載資料取得當月最高日雨量(DRF_{max})。

(2)繪製成折線圖觀察分布情形，並繪製趨勢線以了解歷年變化趨勢。

(3)根據趨勢線推估五年後最高日雨量(DRF_{max})作為儲水裝置的滯洪高度。

4.研究結果：

(1) 2013-2018 年雨量集中月份最高日雨量(DRF_{max})分布情形如圖 5-4-1 所示。

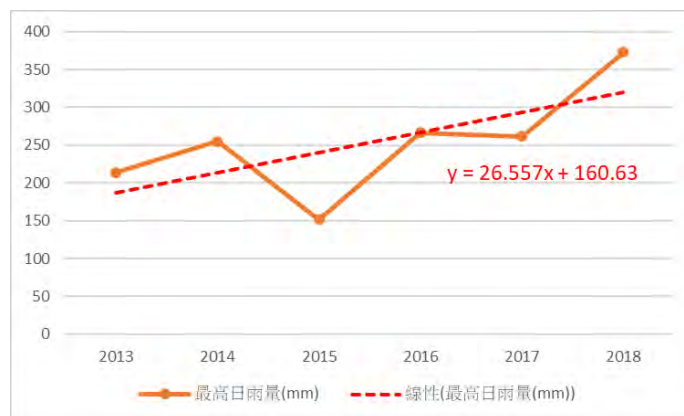


圖 5-4-1 最高日雨量(DRF_{max})分布

5.研究討論：

(1)從圖 5-4-1 發現，各年最高日雨量(DRF_{max})除了 2015 年顯示減少外，其餘年分均顯示增加的現象；另外，觀察趨勢線以對數據變化進行了解，發現趨勢線呈現右高左低，可以推測最高日雨量(DRF_{max})有增加的趨勢。

(2)根據趨勢線推估未來 5 年最高日雨量(DRF_{max})數值如下表 5-4-1，依據採用之蓄

水容器可使用年限，以 2023 年最高日雨量 452.76mm 作為儲水裝置的滯洪高度參考值，因此，設計儲水容器之高度為 500mm。

表 5-4-1 2019 至 2023 年最高日雨量 DRF_{max} 推估表

年份	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
最高日雨量 DRF _{max} (mm)	346.53	373.09	399.64	426.20	452.76

(二) 儲水裝置的防傾倒能力設計

1. 提出問題：如何防範儲水裝置因風的吹襲傾倒？

2. 定義：

儲水裝置邊長(d)：儲水容器底部為正方形，正方形之邊長相等，單位為 cm。

儲水裝置高度(L)：儲水容器高度，單位為 cm。

儲水深度(h)：容器內之儲水深度，單位為 cm。

風壓(P)：風吹在物體所產生的壓力，單位為 gw/cm²。

風力(F)：風吹在物體所產生的力，單位為 gw。

重力(f)：儲水重量(w)與儲水裝置底部外加重物重量(W)，單位為 gw。

順時鐘總力矩(τ₁)：以容器底邊為支點所受之順時鐘力矩和，單位 gw·cm。

逆時鐘總力矩(τ₂)：以容器底邊為支點所受之逆時鐘力矩和，單位 gw·cm。

3. 原理討論：(如圖 5-4-2 儲水裝置力圖分析)

(1) 順時鐘力矩分析

$$F = P \cdot dL$$

$$\tau_1 = F \times \frac{L}{2} = P \cdot dL \times \frac{L}{2} = \frac{1}{2} PdL^2 \dots \dots \dots \text{式(5-4-1)}$$

(2) 逆時鐘力矩分析

$$f = w + W = (1 \cdot d^2 \cdot h) + W = d^2h + W$$

$$\tau_2 = f \times \frac{d}{2} = (d^2h + W) \times \frac{d}{2} = \frac{d}{2}(d^2h + W) \dots \dots \dots \text{式(5-4-2)}$$

(3) 根據槓桿原理，順時鐘總力矩等於逆時鐘總力矩(τ₁ = τ₂)進行推導。

$$\frac{1}{2} PdL^2 = \frac{d}{2}(d^2h + W)$$

$$PL^2 = (d^2h + W) \dots \dots \dots \text{式(5-4-3)}$$

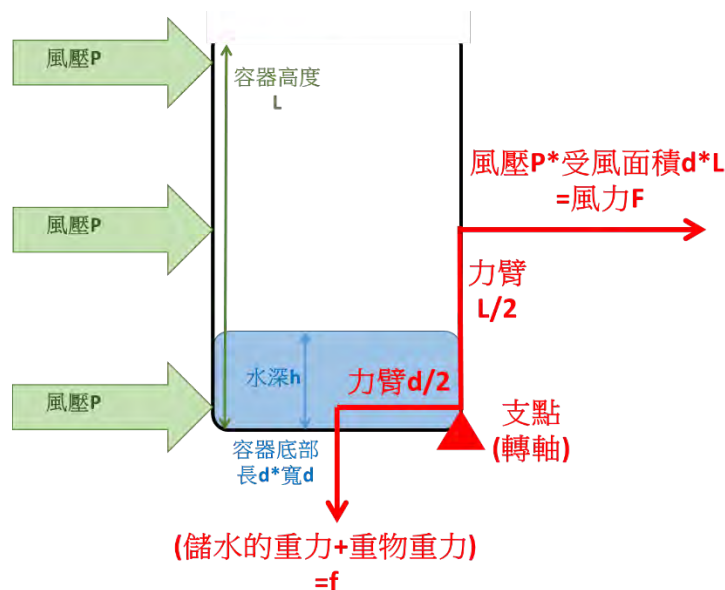


圖 5-4-2 儲水裝置力圖分析

4.研究步驟：

- (1)在本次儲水裝置底部凹槽加入 20 克砝碼，裝滿後搖晃使其密集，再加入砝碼，直至無法再加入為止，測量並計算加入砝碼之總質量(W)。
- (2)將本次研究使用之儲水容器數據儲水裝置邊長(d=40cm)、高度(L=50cm)代入式(5-4-3)，可得 $P \times 50 \times 50 = (40 \times 40h + W)$
 $2500P = 1600h + W \dots \dots \dots \text{式(5-4-4)}$
- (3)至中央氣象局取得風級與風壓表(如表 5-4-2)，代入式(5-4-4)討論。

表 5-4-2 風級與風壓表

風級	名稱	風壓 gw/cm ²	陸地情形
0	無風 Calm	0	靜，煙直上。
1	軟風 Light air	<0.1	炊煙可表示風向，風標不動。
2	輕風 Light breeze	0.1	風拂面，樹葉有聲，普通風標轉動。
3	微風 Gentle breeze	0.1-0.3	樹葉及小枝搖動，旌旗招展。
4	和風 Moderate breeze	0.3-0.7	塵沙飛揚，紙片飛舞，小樹幹搖動。
5	清風 Fresh breeze	0.7-1.4	有葉之小樹搖擺，內陸水面有小波。
6	強風 Strong breeze	1.4-2.3	大樹枝搖動，電線呼呼有聲，舉傘困難。
7	疾風 Near gale	2.3-3.5	全樹搖動，迎風步行有阻力。
8	大風 Gale	3.5-5.2	小枝吹折，逆風前進困難。
9	烈風 Strong gale	5.2-7.2	煙突屋瓦等將被吹損。
10	暴風 Storm	7.2-9.7	陸上不常見，見則 拔樹倒屋 或有其他損毀。
11	狂風 Violent storm	9.7-12.8	陸上絕少，有則必有重大災害。
12	颶風 Hurricane	12.8-16.4	—

5.研究結果與討論：

(1)儲水容器底部凹槽可裝入之砝碼平均質量(W)為 1200.0gw，代入式(5-4-4)。

$$2500P = 1600h + 1200$$

$$25P = 16h + 12 \dots \dots \dots \text{式(5-4-5)}$$

(2)根據表 5-4-2，10 級暴風在陸上不常見，見則拔樹倒屋或有其他損毀，因此，本實驗裝置設計希望在 9 級烈風下仍能不傾倒，故以風壓 5.2-7.2 gw/cm² 代入式(5-4-5)，計算出使儲水容器遇風不傾倒之儲水高度(h)介於 7.4-10.5cm。

(三) 儲水裝置的警戒與排水能力設計

儲水裝置的警戒與排水能力設計以 Arduino 為基礎，利用溫溼度感測器提供溫度數據協助超音波感測器進行水位偵測、利用藍芽傳輸水位訊息至手機，並使用繼電器及電磁閥以控制進水(水龍頭)與排水(接地面)，以下說明實驗裝置設計。

1.硬體設計：以實體設備圖(圖 5-4-3)說明線路與裝置連接情形。

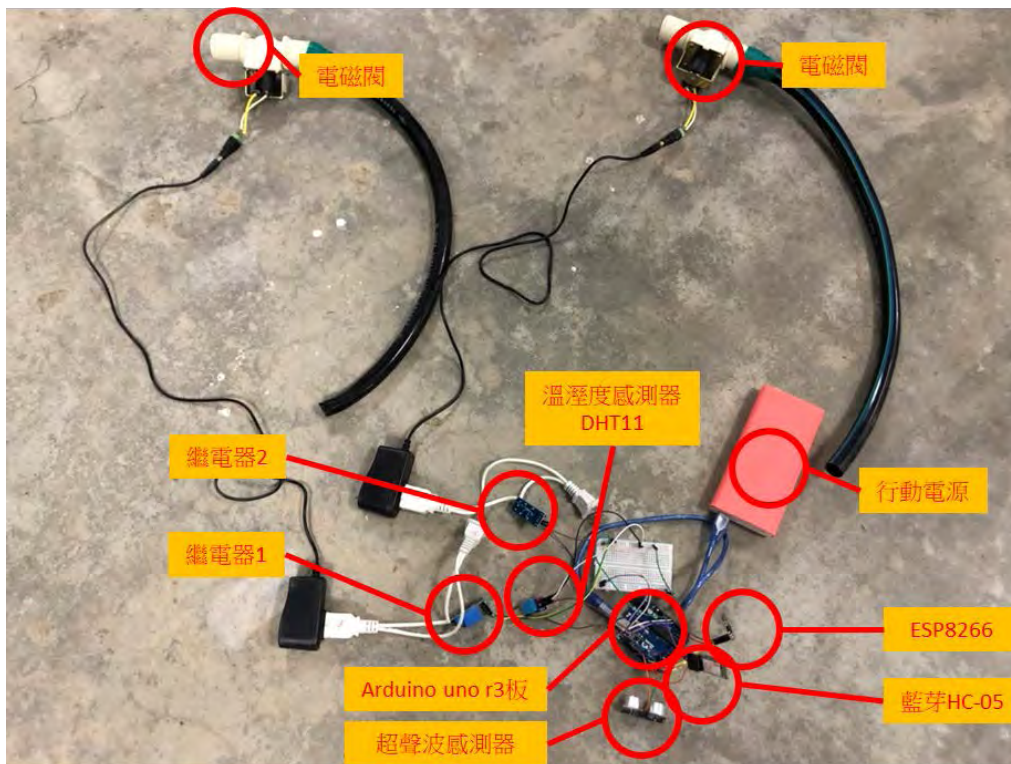


圖 5-4-3 實體設備圖

2.流程設計：以系統流程圖(圖 5-4-4)說明本實驗裝置設計之流程。

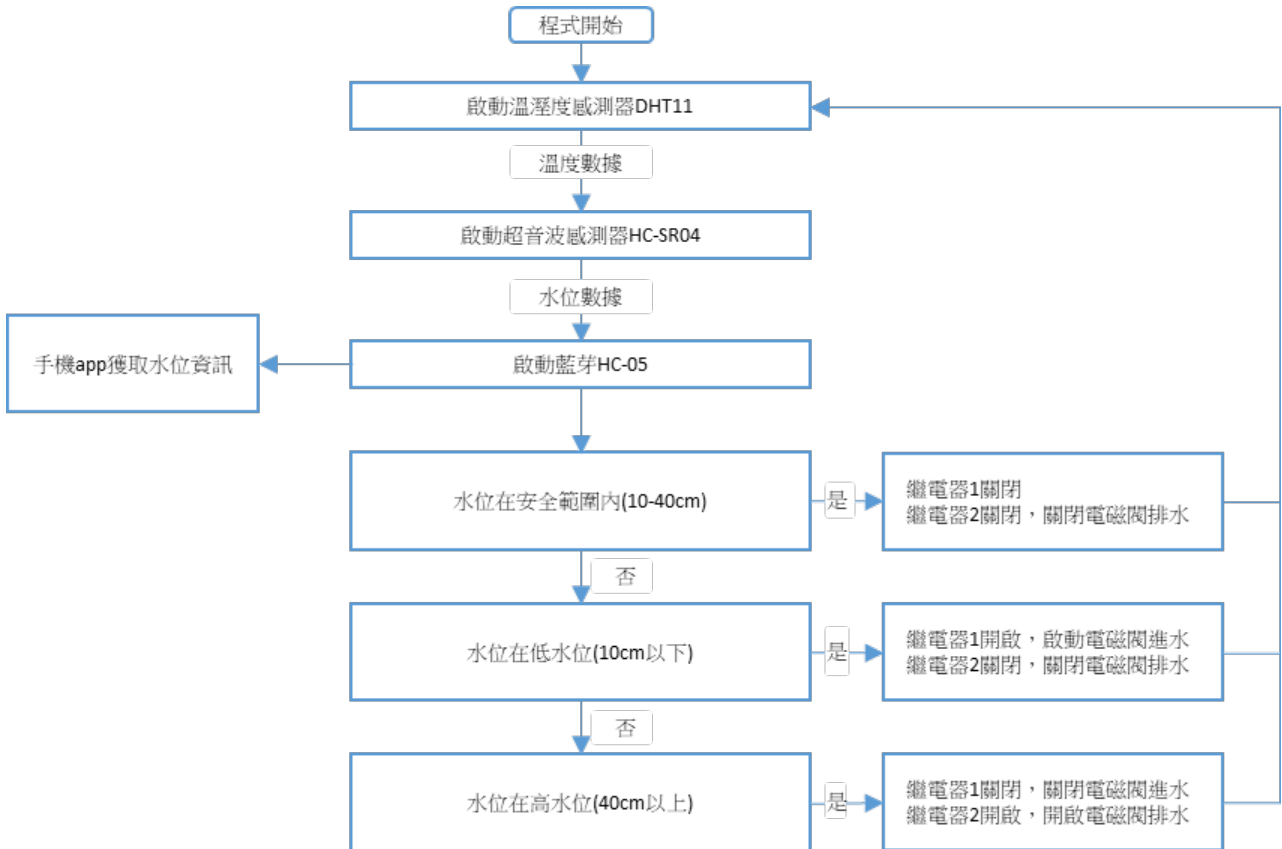


圖 5-4-4 系統流程圖

3.軟體設計：共分成兩個部分，一為 Arduino 程式設計，另一為手機 app 設計。

(1)Arduino 程式設計：依據上述的流程規劃透過 Arduino1.8.5 進行程式設計。

```

2222 | Arduino 1.8.5
檔案 編輯 草稿碼 工具 說明
2222
#include "DHT.h" // 匯入DHT函式庫
DHT dht(2, DHT11); // DHT11的訊號接到pin2

#include <SoftwareSerial.h>
const int trig = 8;
const int echo = 9;
const int TX = 10;
const int RX = 11;
const int delay_time = 1000;
SoftwareSerial BT(RX, TX);

#define relayPIN1 3
#define relayPIN2 4

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  BT.begin(9600);
  pinMode(trig, OUTPUT);
  pinMode(echo, INPUT);
  Serial.println("Start!!!");

  pinMode(relayPIN1, OUTPUT);
  pinMode(relayPIN2, OUTPUT);
}
          
```

```

2222 | Arduino 1.8.5
檔案 編輯 草稿碼 工具 說明
2222
void loop() {

float dhtT = dht.readTemperature();
float dhtH = dht.readHumidity();

float duration;
float distance;
digitalWrite(trig, HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(trig, LOW);
duration = pulseIn(echo, HIGH);
distance = 50-10000*(duration / 2) / (331.5+0.607*dhtT);

Serial.print("T =");
Serial.print(dhtT);
Serial.println("C");

Serial.print("H =");
Serial.print(dhtH);
Serial.println("%");

Serial.print("Distance =");
Serial.print(distance);
Serial.println("cm");
delay(delay_time);
          
```



```

if(distance<10)
  digitalWrite(relayPIN1,HIGH);
  digitalWrite(relayPIN2,LOW);
if(distance<=10 and distance<=40)
  digitalWrite(relayPIN1,LOW);
  digitalWrite(relayPIN2,LOW);
if(distance>40)
  digitalWrite(relayPIN1,LOW);
  digitalWrite(relayPIN2,HIGH);

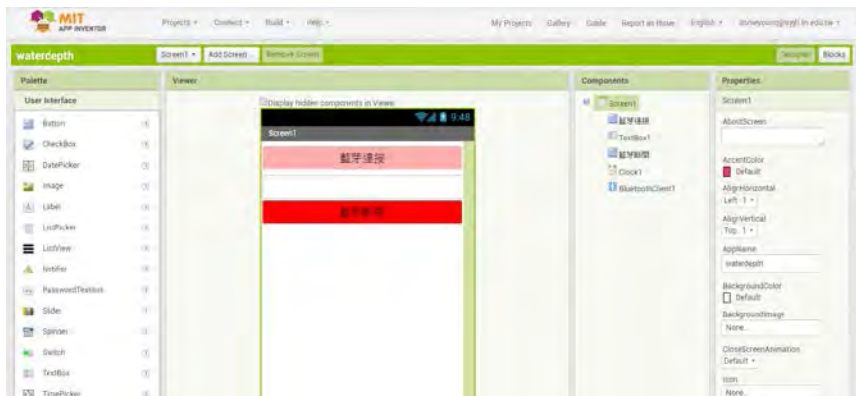
int sendData = (int)(distance * 100);
byte packet[3];
packet[0] = 97;
packet[1] = sendData / 256;
packet[2] = sendData % 256;

if(BT.available() > 0)
  if(BT.read() == 97)
  {
    Serial.println("succeed!");
    for(int i = 0; i < 3; i++)
      BT.write(packet[i]);
  }
}

```

(2)手機 app 設計：利用 MIT App Inventor 進行手機 app 設計。

A.螢幕 Designer：加入藍芽連接與藍芽斷開兩個按鈕及一個數據傳收欄位，此外並設置藍芽接收時間與藍芽設定。



B.Blocks 語法設計

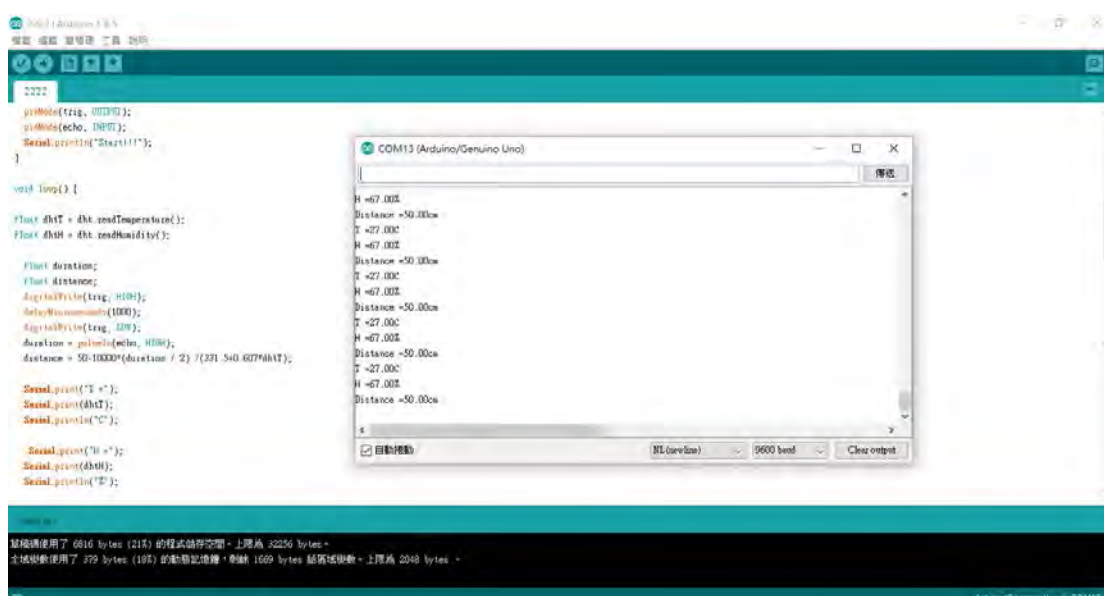


4.程式執行成果

A.手機執行 APP 成果



B.序列埠監控視窗執行成果



五、近年氣溫變化情形分析

本研究從政府資料開放平台下載台南氣象站 2010~2018 年等 9 年之氣象觀測資料做為氣溫分析之研究資料，以了解近年氣溫變化情形；另外，為了獲得歷年每日的最高氣溫資料，再由 CWB 觀測資料查詢系統進行資料的收集。

(一) 2010~2018 年等 9 年之年均溫分析

1.提出問題：每年的年均溫是否越來越高？

2.定義：

(1)年均溫(the average temperature of the year, YT)：一年中日均溫平均，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2)平均年均溫(YT_{avg})：9 年年均溫平均值，單位 $^{\circ}C$ 。

(3)年均溫距平($YT_{anomaly}$)：

$$YT_{anomaly} = YT - YT_{avg} \dots \dots \dots \text{式(5-5-1)}$$

3.研究步驟：

(1)利用電腦軟體 Excel 將每年之月均溫取平均值，計算出年均溫(YT)。

(2)將九年的年均溫平均，計算出九年的平均年均溫(YT_{avg})。

(3)根據式(5-5-1)計算各年之年均溫距平($YT_{anomaly}$)。

(4)繪製成直條圖觀察距平分布情形並繪製趨勢線了解年均溫變化趨勢。

4.研究結果：近九年年均溫距平分布如圖 5-5-1 所示。



圖 5-5-1 近九年年均溫距平分布圖

5.研究討論：

(1)觀察年均溫距平分析資料發現，在 2015 年以前距平值均為負值，2015 年開始距平值為正值，顯示年均溫呈現增加趨勢。

(2)從趨勢線觀察，呈現右高左低現象，顯示年均溫有增加現象，但是斜率數字僅 0.0953，沒有明顯的升高趨勢。

(二) 2010~2018 年等 9 年之逐月均溫分析

1.提出問題：月均溫是否有極端變化的現象？

2.定義：

月均溫(the average temperature of the month, MT)：一月中日均溫平均，單位 $^{\circ}C$ 。

3.研究步驟：

(1)利用電腦軟體 Excel 分別將每個月之日均溫取平均值，計算出月均溫(MT)。

(2)將歷年月均溫繪製成折線圖，比較歷年折線圖。

4.研究結果：近九年月均溫分布情形如圖 5-5-2 所示。

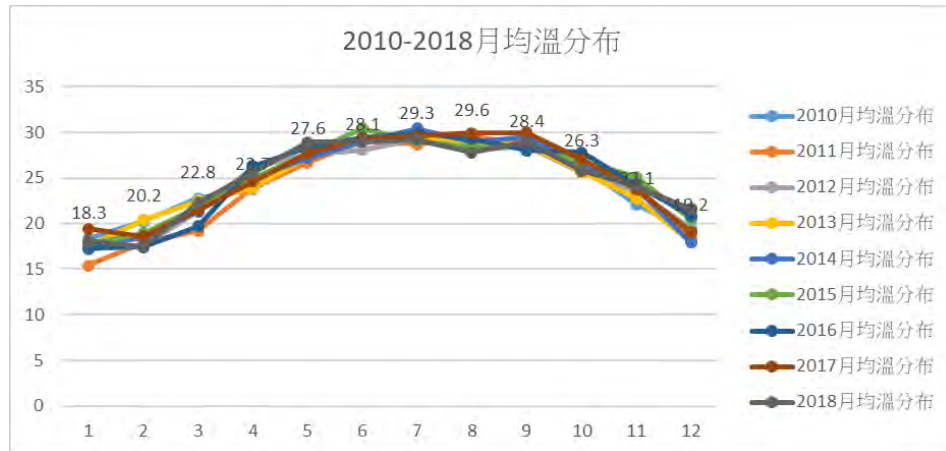


圖 5-5-2 近九年月均溫分布情形

5.研究討論：

從圖 5-5-2 發現歷年月均溫折線圖均大同小異，未出現特別不同的氣溫變化，因此，推測極端氣溫的變化無法從月均溫的討論分析出來，但新聞不斷更新的氣溫飆新高確是歷歷在目！所以，推測應從以日為單位進行小尺度分析或許可見端倪。

經過文獻資料的查找發現中央氣象局訂定每日最高溫攝氏 35 度以上的日子稱為高溫日，可見當進行極端氣候變化的討論時，小尺度的極端變化是需要特別注意，因此，接下來以討論高溫日作為研究的主要方向。

(三) 2010~2018 年等 9 年之高溫日數分析

1.提出問題：高溫日數是否增加？

2.定義：

(1)高溫日(high temperature day, HTD)：每日最高溫 35°C 以上的日子。

(2)高溫日數(number of high temperature days, N_{HTD})：一個月中高溫日數，單位為天數。

3.研究步驟：

(1)從 CWB 觀測資料查詢系統中取得每日最高溫度記錄，找出最高溫達 35°C 的日子作為高溫日(HTD)。

(2)統計歷年每月的高溫日數(N_{HTD})，並繪製成折線圖進行觀察與討論。

(3)加總每年發生的高溫日數，繪製成長條圖進行討論。

4.研究結果：

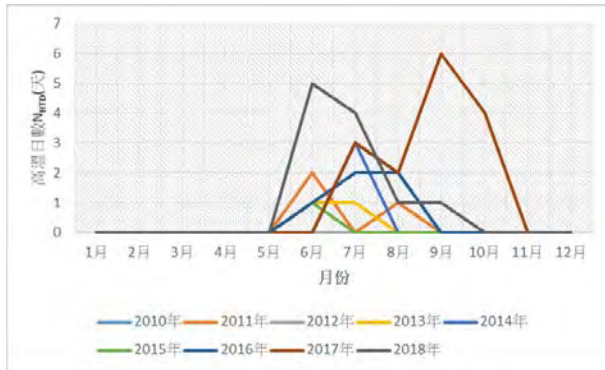


圖 5-5-3 歷年每月的高溫日數(N_{HTD})折線圖

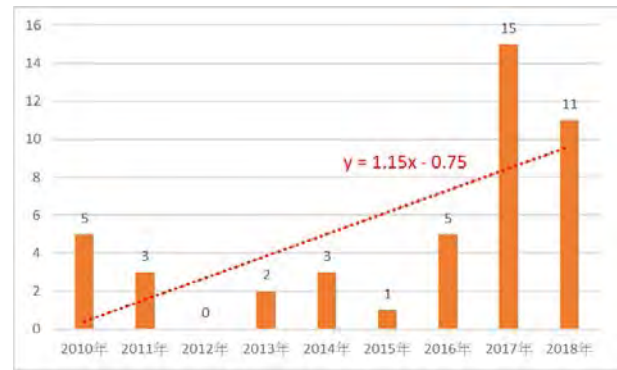


圖 5-5-4 歷年高溫日數長條圖

5.研究討論：

(1)從圖 5-3-3 發現，歷年的高溫日主要集中在 6-9 月份，11 月到隔年的 5 月沒有出現高溫日。

(2)從圖 5-5-4 發現，每年出現高溫日的次數有明顯增加的現象其中尤其以 2017 年最為明顯，足以證明我們的氣候變化有越來越常出現高溫的現象。

根據以上研究，發現台灣目前的氣溫變化有越來越常出現高溫日的現象，在這樣的氣候變化下，人們的生活條件變得嚴苛，酷熱的氣溫造成居住環境悶熱難耐，因此，如何設計一個可行的綠色屋頂以改善悶熱的居住環境問題正是值得我們這次研究的課題。

六、具隔熱及生態平衡能力的智慧綠色屋頂裝置設計

為了因應越來越常出現的高溫日，本次實驗希望可以利用前段設計出的滯洪及警戒能力的儲水裝置，進行綠屋頂的配套設計，因此，繼續進行研究，以下分成六個部分來討論。

此外，本部分研究採用的植物為本土種芭樂樹，是以維持生態平衡(不使用外來種植物)、容易取得(價格便宜)及植物特性(細長的枝桠與緩慢的生長趨勢可避免對屋頂承載力造成負擔、對耐嚴苛環境的適應力可承受屋頂種植條件)等考量進行選擇的結果。

(一)綠屋頂的栽培介質選擇

1.提出問題：哪一種栽培介質適合本次研究的綠屋頂設計？基於本次研究的設計需求，我們需要質輕(綠屋頂承重限制)且透水速度快(讓雨水迅速通過以滯洪儲水)的栽培介質，根據資料查詢的結果，選定砂、珍珠石、發泡煉石、泡綿、樹皮等質輕的栽培介質進行透水速度研究。

2.定義：

(1)透水量(water volume, V_w)：通過栽培介質的水量，單位為 mL。

(2)透水時間(permeation time, t)：本實驗中指 500mL 水量流過所需時間，單位為 s。

(3)透水速度(permeation velocity, PV)：單位為 mL/s。

$$PV = (V_w / t) \dots\dots\dots\text{式(6-1-1)}$$

3.研究步驟：

(1)將選定之 5 種不同種類的栽培介質(平均粒徑約 0.5cm)分別裝入定植籃中，輕敲使之縫隙減少後再裝滿，重複數次，直至輕敲後無法再裝入栽培介質為止。

(2)於定植籃下方放置透明塑膠筒(塑膠筒上 500mL 處做記號)。

(3)利用手機拍攝實驗過程，於定植籃上方開始倒水，觀察塑膠筒內水量。

(4)實驗完成後，測量並記錄透水 500mL 之透水時間(t)及分析透水速度(PV)。



圖 6-1-1 實驗操作過程情形

4.研究結果：如下表 6-1-1 不同種類的栽培介質之透水速度(PV)比較表所示。

栽培介質種類	砂	珍珠石	發泡煉石	樹皮	泡綿
平均透水速度 $PV(\text{mL/s})$	1.1	0.7	6.1	3.5	0.2
平均透水速度排名	3	4	1	2	5

5.研究討論：

(1)從本次實驗觀察及表 6-1-1 數據計算後發現，5 種常用來作為綠屋頂或水耕栽培的栽培介質中以發泡煉石的透水速度最快，水一倒下去就非常迅速地流入水管中，其次是樹皮，砂的透水情形是漸漸流下，珍珠石則是水倒入後浮了起來，泡棉需等吸滿水才開始透水，透水速度最慢。

(2)依據本次我們的研究設計，選定發泡煉石作為栽培介質。

(二)綠屋頂植栽供水方式實驗

1.提出問題：如何讓植栽可以從儲水裝置中獲得生長所需的水分？本次研究希望可以把綠屋頂植物種植在前端設計的儲水裝置上，考量隨時做好滯洪的準備，所以在深為 50 公分的儲水裝置中設定平時僅維持 10 公分高度的水量(以程式設計控制)，因此有 40 公分的高度差，在這樣的高度差下，植栽如何獲取水分成為接下來研究的方向。

2.定義：

生存時間(survival time, t_s)：植栽從種下後到枯萎花費時間，單位為天，由於一次實驗為期 60 天，因此，在本實驗中生存時間(t_s)最大值為 60。

3.研究步驟：

查詢各種資料及網路論壇發現，可供我們進行測試的植物供水法有利用棉線毛細現象及氣霧兩種供水方式，因此，以以上兩種供水方式及直接供水(作為對照組)進行實驗並紀錄植栽生存時間(t_s)以進行分析，步驟及實驗過程如下圖 6-1-2。



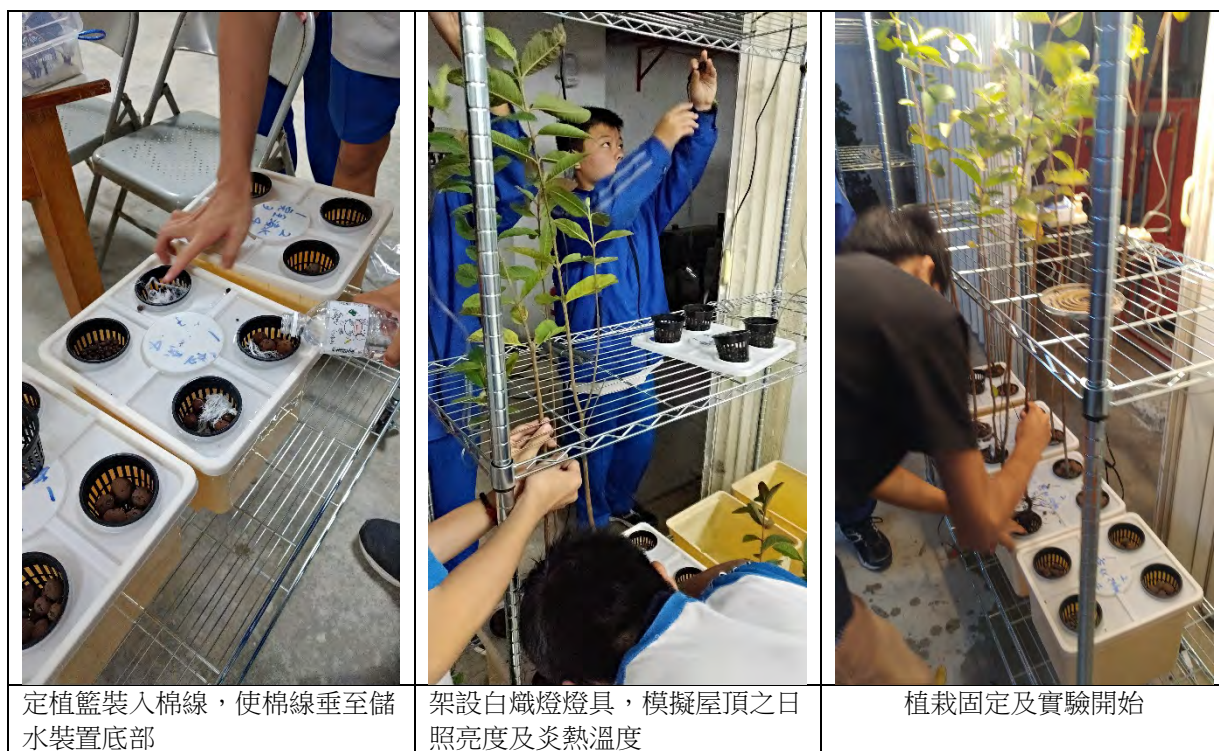


圖 6-1-2 實驗操作過程情形

4.研究結果：不同供水方式的植栽生存時間(t_s)如表 6-1-2 所示。

表 6-1-2 不同供水方式的植栽生存時間(t_s)比較表

供水方式	直接供水	棉線供水	氣霧供水
植栽平均生存時間 t_s (天)	60	5	54

5.研究討論：

從本次實驗觀察及表 6-1-1 數據計算後發現，棉線供水的植栽生存時間明顯低於另外兩種，而氣霧供水與實驗對照組有相同的效果，因此，選定氣霧供水作為本次研究的主要供水方式。

(三)栽培介質粒徑大小實驗

1.提出問題：哪一種粒徑大小的發泡煉石適合作為本次研究的栽培介質？基於本次研究的設計需求，我們需要能夠涵養水源(蓄水容器裡的水不會太快流失，以節省乾早期的額外供水)且讓植栽生長良好的發泡煉石。

2.定義：

生存時間(survival time, t_s)：植栽從種下後到枯萎花費時間，單位為天，由於一次實驗為期 60 天，因此，在本實驗中生存時間(t_s)最大值為 60。

3.研究步驟：

(1)將市面上能夠買到的發泡煉石(共五種粒徑等級)分別裝入定植籃中，植入植栽。

(2)利用 24 小時提供氣霧的方式進行供水，觀察並記錄植栽生存時間。

4.研究結果：不同粒徑大小發泡煉石的植栽生存時間(t_s)如表 6-13 所示。

表 6-1-3 不同粒徑大小發泡煉石的植栽生存時間(t_s)比較表

發泡煉石粒徑(mm)	1-4	4-8	8-12	12-16	16-20
植栽平均生存時間 t_s (天)	發泡煉石掉出定植籃，無法繼續實驗	53	44	5	3



圖 6-1-3 實驗操作過程情形

5.研究討論：

從研究結果發現以最適合的發泡煉石為粒徑 4-8mm，可讓植栽生長良好且較密的防護層可以避免氣霧逸出。

(四)綠屋頂氣霧耕植實驗

1.提出問題：多長的氣霧提供時間間隔(多高的濕度)可以讓植栽生長良好？在我們前面的實驗中都是採取 24 小時不間斷地提供氣霧，在節能考量下，希望可以藉由實驗獲取最適合的氣霧提供方式。

2.定義：

生存時間(survival time, t_s)：植栽從種下後到枯萎花費時間，單位為天，由於一次實驗為期 60 天，因此，在本實驗中生存時間(t_s)最大值為 60。

3.研究步驟：

(1)以發泡煉石粒徑 4-8mm 種植植栽，並利用 arduino uno r3 與繼電器撰寫程式(程式語法如下圖 6-1-4)以控制霧化器之電源的方式，設定氣霧提供之時間間隔，繼電器訊號 HIGH 則霧化器開啟。

(2)觀察並記錄植栽生存時間。

(3)選定最佳之氣霧提供時間間隔後，於 arduino 板加裝溫溼度感測器，再次進行實驗，偵測氣霧造成的濕度變化情形，了解最適合植栽生長之濕度環境。



圖 6-1-4 實驗操作過程情形

4.研究結果與討論：

(1)從本次實驗發現當氣霧提供以小時為單位的時間間隔尺度太大，植栽迅速枯萎，因此進行以「分」為時間間隔的實驗，發現提供氣霧 3 分鐘、停止氣霧 1 分鐘的效果最佳，如表 6-1-4 所示，因此，選定此種時間間隔配置進行下一步實驗。

表 6-1-4 不同氣霧提供之時間間隔的植栽生存時間(t_s)比較表

氣霧提供之時間間隔	24 小時不 中斷	開 12 小時 關 12 小時	開 3 分鐘 關 1 分鐘	開 6 分鐘 關 1 分鐘	開 9 分鐘 關 1 分鐘
植栽平均生存時間 t_s (天)	60	3	58	41	7

(2)利用溫溼度感測器針對提供氣霧 3 分鐘、停止氣霧 1 分鐘進行溫溼度監控，發現濕度沒有明顯的變化，如圖 6-1-5，由此可知最適合植栽生存的濕度為 95%。

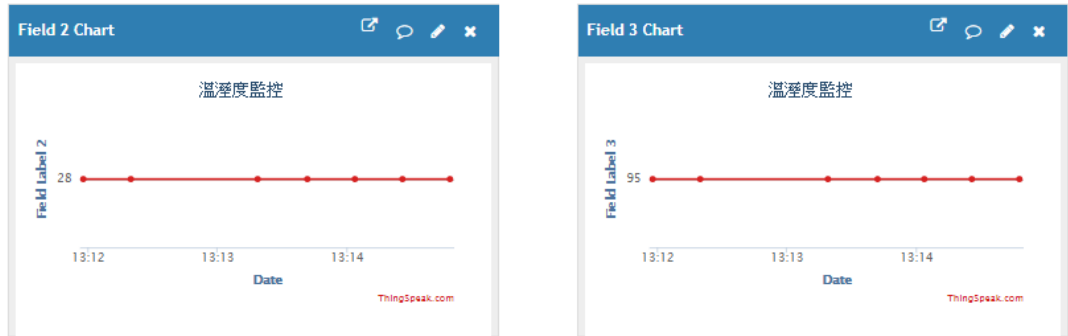


圖 6-1-5 氣霧 3 分鐘、停止 1 分鐘溫溼度監控結果

(五)綠屋頂隔熱效果實驗(不同高度植栽)

1.提出問題：本次實驗設計是否具有可信的隔熱效果？而不同高度植栽其隔熱效果是否具有差異？

2.研究步驟：

(1)利用 arduino uno r3、溫溼度感測器 DHT-11 與 ESP8266 自行設計自製溫溼度監控裝置，並將訊息上傳至 thingspeak 網站，利用手機隨時進行監控。

(2)將自製溫溼度監控裝置設置於實驗架之無植栽處、植栽高度 20-30 公分處與植栽高度 60-75 公分處讀取溫溼度值與變化圖。

<pre> sketch_apr11a Arduino 1.8.5 檔案 編輯 串列埠 工具 說明 sketch_apr11a.g #include <SoftwareSerial.h> SoftwareSerial esp8266(4,5); //esp8266的TX接到pin4，RX接到pin5 #include "DHT.h" // 匯入DHT函式庫 DHT dht(2, DHT11); // DHT11的訊號接到pin2 String apiKey = "FBCSTR0K6X0BQ7"; // ""內輸入ThingSpeak的write API Key String ssid = "SYHhacker_2_49"; // ""內輸入wifi基地台的名稱 String password = "syjh6891105"; // ""內輸入wifi基地台的密碼 boolean DEBUG = true; void showResponse(int waitTime){ long t=millis(); char c; while (t+waitTime<millis()){ if (esp8266.available()){ c=esp8266.read(); if (DEBUG) Serial.print(c); } } } boolean thingSpeakWrite(float value1, float value2){ //自己增加或減少要上傳的數據項目 String cmd = "AT+CIFSTART=\"TCP\", \""; cmd += "104.106.153.149"; cmd += "\",80"; </pre>	
<p>自製溫溼度監控裝置部分程式語法</p>	<p>自製溫溼度監控裝置實際裝置情形</p>

圖 6-1-6 實驗操作過程情形

4.研究結果：



圖 6-1-7 植栽高度 60-75 公分處溫溼度紀錄



圖 6-1-8 植栽高度 20-30 公分處溫溼度紀錄

5.研究討論：

- (1)從本次實驗結果發現在當時氣溫 29°C 的情況下，不論是哪一種植栽都能降溫達 5°C(29-24)，顯示我們設計的儲水裝置與氣霧產生了良好的隔熱效果，但植栽真的無助於隔熱嗎？推測本次實驗的植栽葉片數不夠多應是影響結果的最大因素。
- (2)此外，在實驗結果中意外發現植栽高度較高的組別所獲取的溼度數值穩定，而植栽高度較低的組別濕度數值有明顯跳動，值得我們做更進一步的研究。

(六)智慧綠色屋頂裝置設計

根據以上實驗，本次智慧綠屋頂的設計有以下幾個最佳栽培條件：

1. 最適合的發泡煉石為粒徑 4-8mm
2. 最適合的供水方式為提供氣霧 3 分鐘、停止氣霧 1 分鐘(即空氣濕度 95%)
3. 最適合的植栽高度為 60-75 公分

七、兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置設計

(一)第一代綠色屋頂裝置設計

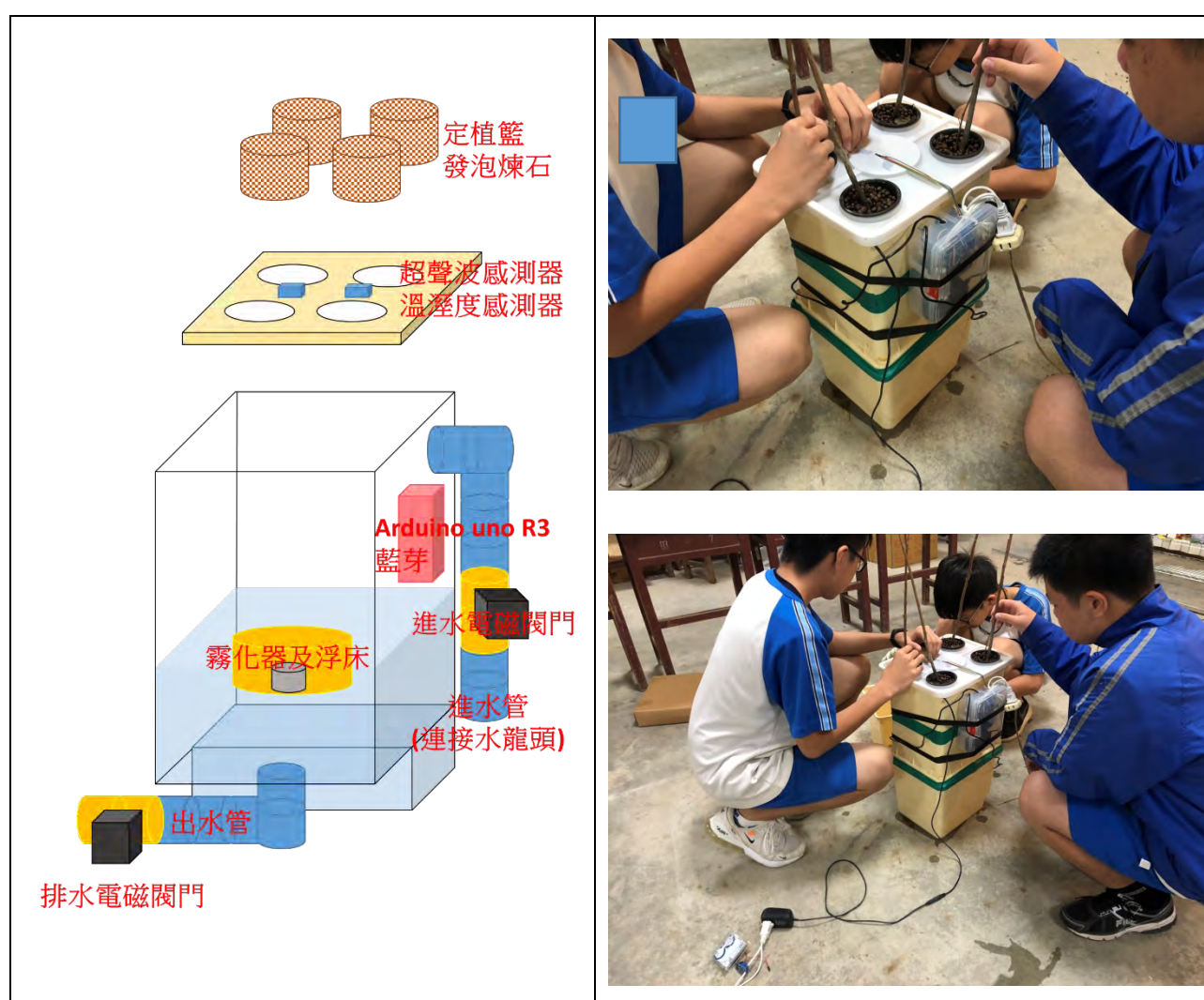


圖 7-1 兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置設計完成作品(第一代)

在經過一連串的研究過程後，設計出的裝置如圖 7-1，但發現利用定植籃栽種植栽須加裝定植籃架，並不透水，無法進行有效的蓄水。

二、第二代綠色屋頂裝置設計

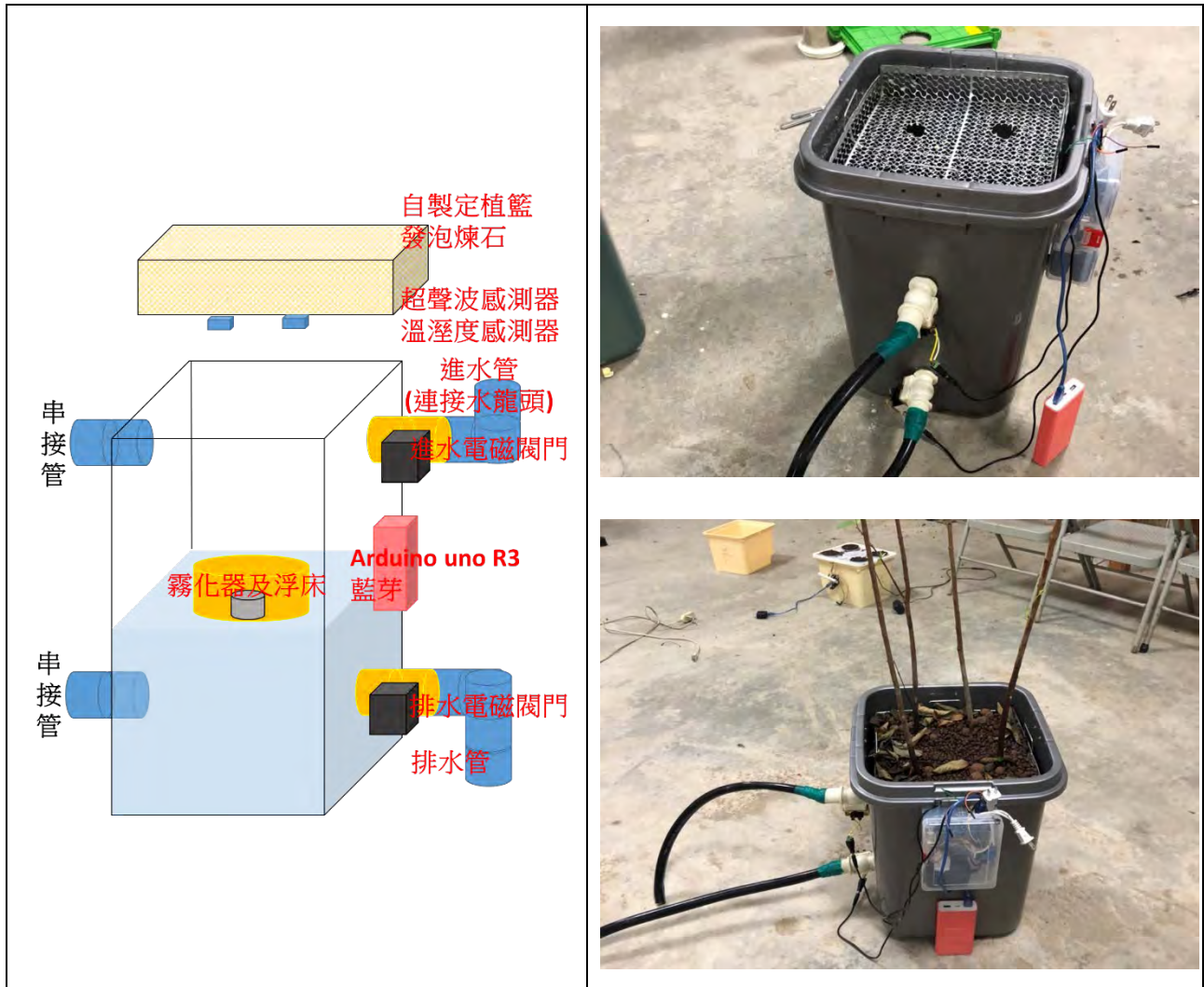


圖 7-2 兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置設計完成作品(第二代)

在經過一連串的研究過程後，設計出的裝置如圖 7-2，進行實際種植，截至目前為止，植栽生存狀況良好。



陸、結論與建議

- 一、台灣目前的降雨量逐年增加的情況並不明顯，但是，降雨有主要集中在一個月的 2-3 天的現象，大量且集中的降雨不及宣洩甚至回堵，使得原本不會淹水的地區亦發生洪患。
- 二、台灣目前的氣溫變化有越來越常出現高溫日的現象。
- 三、因應五年的滯洪需求，故儲水容器之高度為 500mm，防風傾倒能力為 9 級風，並利用超音波感測器測量水位高度、並傳送水位高度至手機以提供警戒。
- 四、本次智慧綠屋頂的設計有以下幾個最佳栽培條件為發泡煉石為粒徑 4-8mm、供水方式為提供氣霧 3 分鐘停止氣霧 1 分鐘(即空氣濕度 95%)、植栽高度為 60-75 公分。
- 五、淹水情形通常發生在下一天雨之後，因此，本實驗設計係考慮一天的滯洪量，以延緩大量雨水四溢的淹水慘狀，未來可以朝蓄積更多的雨水以作為家庭用水的方向繼續研究。
- 六、本實驗目前以原生種土芭樂樹做為綠屋頂之植栽，除了耐旱、耐光及屋頂承重等考量外，土芭樂樹之成長緩慢，易於照顧亦為重要考量之一，未來可以嘗試種植他種植物或以不同植物混合栽種等方式進行實驗，以創造水泥叢林上之生態跳島。
- 七、本次儲水裝置設計之風吹不傾倒推算係以 9 級風為考量進行設計，未來若能再 arduino 板上加上風壓感測器，利用即時測得之風壓進行運算，求得當時所需之水位高度，控制蓄水之進出，將可讓本裝置更具實用性。

柒、參考資料

1. 蔡宗燁 (2015)，氣霧耕栽培對六種不同葉菜類生長特性之影響，國立中興大學農藝學系所碩士論文。
2. 鍾尚諭 (2007)，雨水貯蓄結合滯洪應用於工業區之研究，中華大學土木與工程資訊學所碩士論文。
3. 馬天日 (2018)，發泡煉石薄層綠屋頂熱效應之研究，東海大學景觀學所碩士論文。
4. 張文亭 (2014)，建築基地雨水貯留滯洪設施之成效評估-以新北市林口區為例，海洋大學河海工程學系碩士論文。
5. 蔡宏達 (2007)，雙槽式滯洪池調洪成效探討，成功大學水利及海洋工程學碩士論文。

【評語】 032809

1. 本作品研製兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置，題目構想創新、符合環保趨勢、實作方法亦符合科學精神。
2. 所製作之作品可用於解決地方上可能遇到的逢雨必淹的狀況，適合未來做為學校鄉土教材的示範。
3. 惟量測數據可能的誤差來源、因應不同大小的容器的設計參數的調整方式可以更仔細的探討。

壹、研究動機

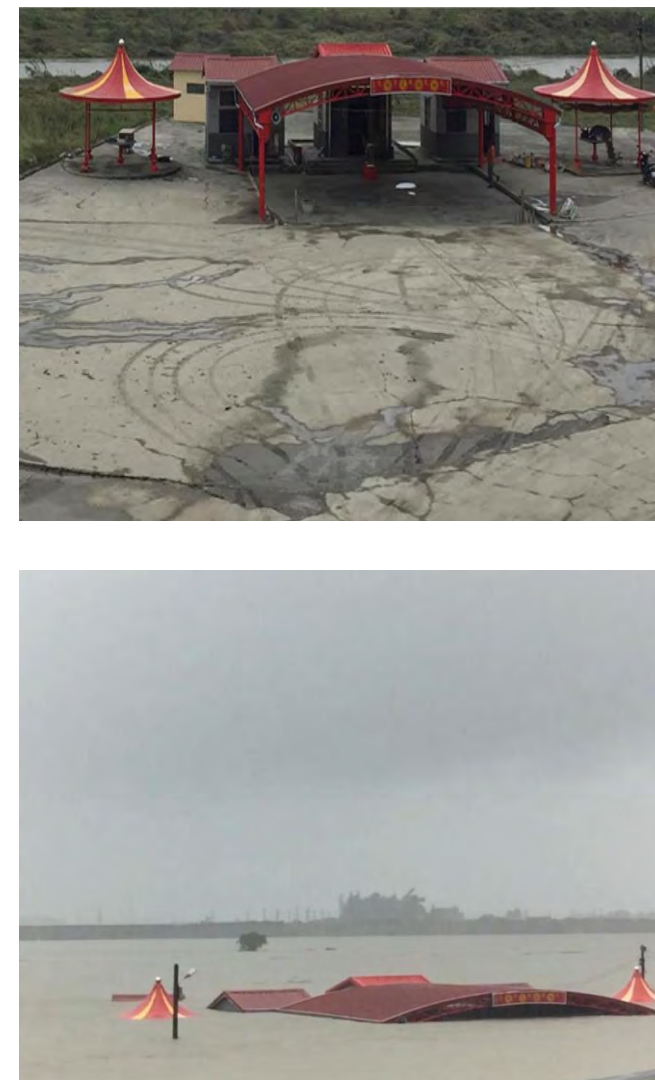
一、雨勢又急又大，淹水災情頻傳

去年的8月23日是令人印象深刻的一天，猛烈的大雨除了讓人感受到「雨彈」轟炸的威力之外，沒淹過水的社區淹起了大水，甚至有的房屋因此滅頂，大家一夜驚魂，而大水退去後的社區更顯得一片狼藉，慘不忍睹！經過新聞事件收集與跟長輩訪談，發現這幾年來降雨有越來越集中且大量的趨勢，對於該如何適應這樣的氣候變遷非常令人擔心！

二、氣溫屢破新高，熱危害事件不斷

一年級時教室在學校的最高樓層3樓，從3月開始，天氣從寒冷一下子轉為酷熱，教室內電扇再怎麼努力地轉動，吹出來的總是令人快要窒息的熱風！一次又一次，氣象報導不斷更新「氣溫又一次破新高」、「氣溫再一次破百年來最高溫」等資訊，到了6月甚至還有人因為天氣太熱死亡的消息傳出，而各國政府單位更紛紛開始研擬放高溫假的規範。

從以上兩方面的了解，發現人類生存的環境條件似乎越來越嚴苛，因此，這次的科學研究試圖從氣象數據了解氣候變遷的現況，並尋求可行的調適方法。



貳、研究目的

- 一、了解目前降雨變化的情形。
- 二、設計出具有滯洪及警戒能力的智慧屋頂儲水裝置。
- 三、了解目前氣溫變化的情形。
- 四、設計出具有隔熱及生態平衡能力的智慧綠屋頂裝置。
- 五、設計出兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的智慧綠屋頂裝置。

參、研究器材與設備

塑膠桶	定植籃	水管	剪刀
捲尺	鐵絲	白熾燈250W	實驗用鐵架
防水膠帶	錫槍(錫)	發泡煉石(5種粒徑)	土芭樂樹(2種高度)

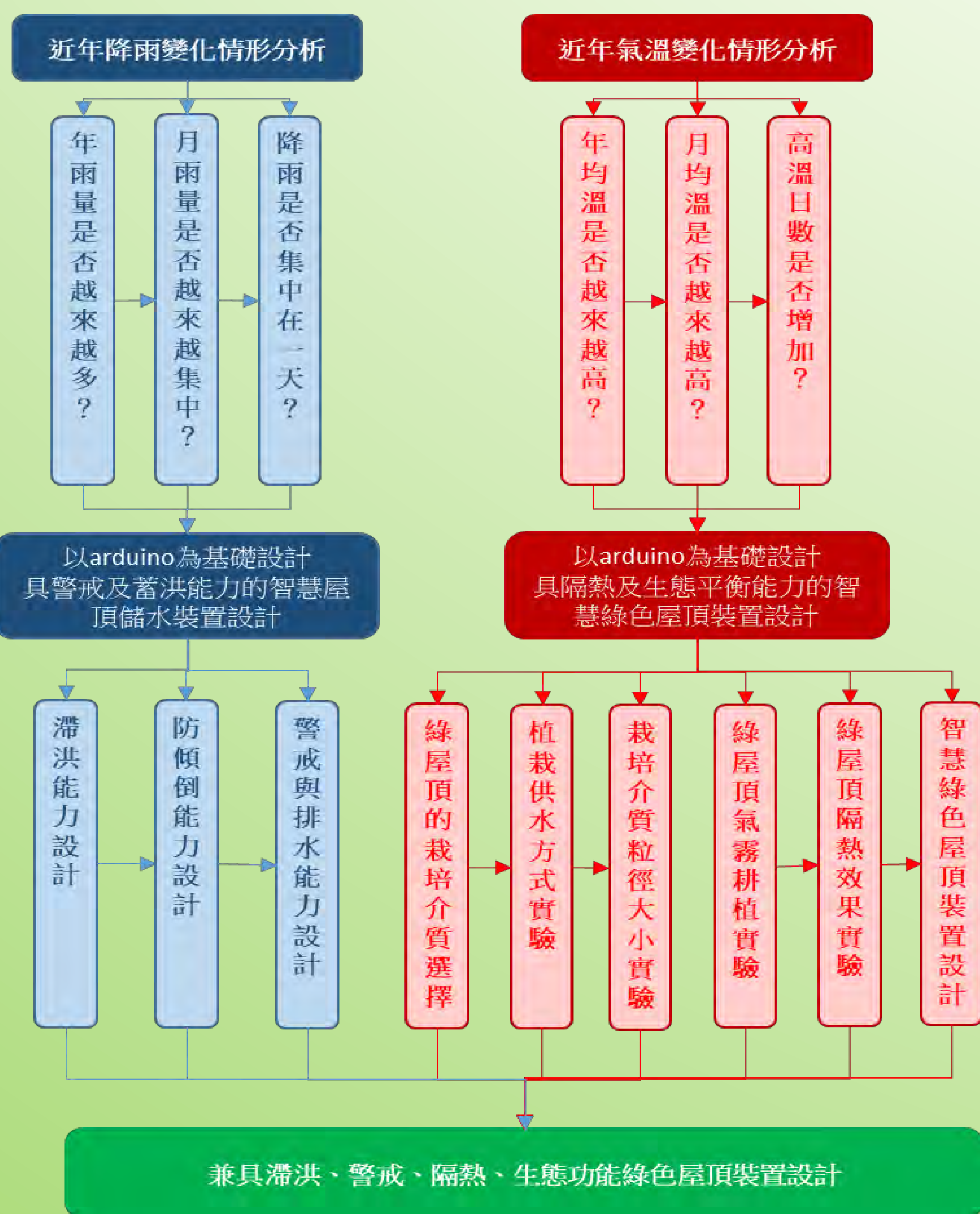
行動電話	電子秤	常閉式電磁閥	電腦
Arduino Uno R3	溫溼度感測DHT-11	ESP8266 WiFi	超聲波感測器
藍芽HC-05	繼電器	行動電源	超聲波霧化器

肆、研究過程



伍、研究結果與討論

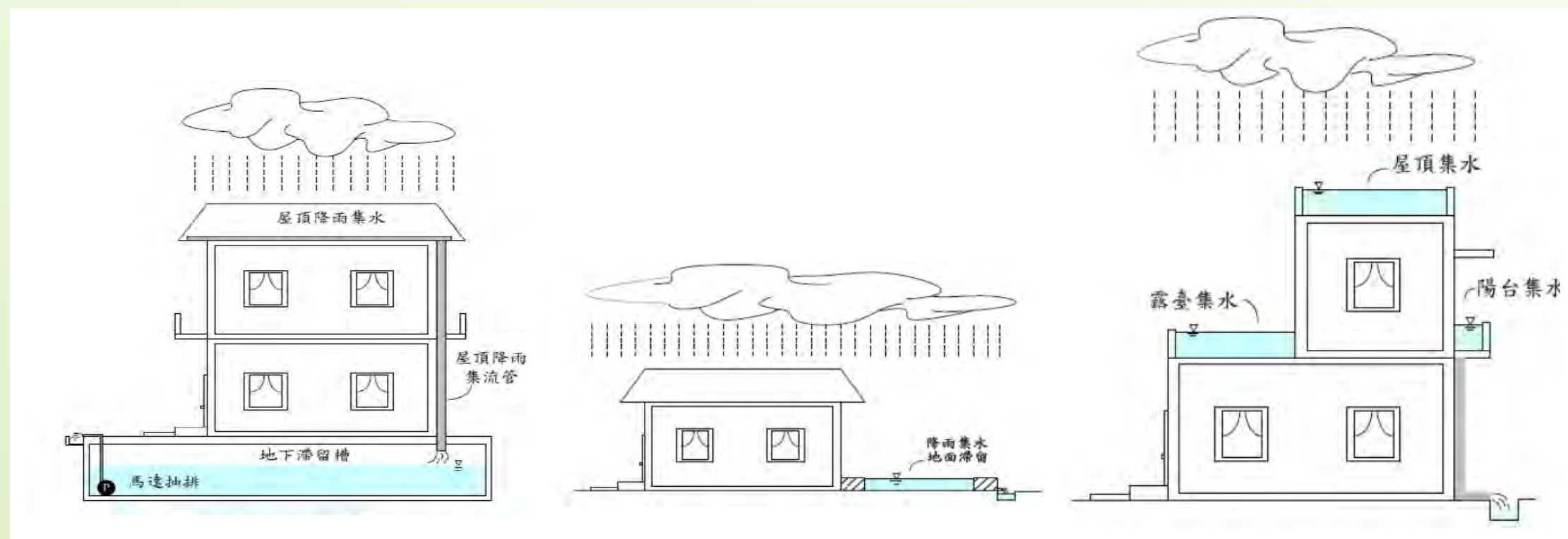
第一部份：發展研究架構



第二部份：文獻探討

(一) 建築物滯洪設備

目前建築物滯洪設備(雨水貯留)大略可分為下圖三種形式及其他類共四種，而放流方式則可區分為壓力流、重力溢流及機械抽排等類型。



(二) 綠屋頂

1.常見的綠屋頂種類：分成「薄層式」、「盆鉢式」、「庭院式」三種類型，受限於建築物的載重量和排水等因素，不能隨意施作。



2.綠屋頂的好處：

增加都市的綠化率、美化環境	隔濾懸浮微粒、淨化空氣
都市降溫、減少輻射、熱島效應	調節截留雨水、淨化用水
屋頂保溫隔熱、節約能源	隔絕噪音與防範火災
保護建築結構、延長使用壽命	創造生物多樣性與生物棲息環境
固定二氧化碳、達成減碳目標	提供休憩、療癒、教育園藝空間

第三部份：近年降雨變化情形分析

(一) 2010~2018年等9年之年雨量分析

問題：每年的年雨量是否越來越多？

步驟：

- (1)利用電腦軟體Excel分別將每年之日雨量加總，計算出年雨量(ARF)。
- (2)將九年的年雨量加總，計算出九年的總年雨量(ARF_{total})。
- (3)計算各年之年雨量比率(ARF_{ratio})。
- (4)製成折線圖觀察分布情形，並利用平均線與趨勢線了解分布趨勢。

結果：



(1)將年雨量分布比率折線與平均線進行比較，發現呈現高低波形，而週期有變小的現象，其中是否有特殊的含意，值得進一步的探討。

(2)觀察趨勢線對數據變化進行了解，發現趨勢線呈現右高左低，可以推測年雨量有漸增的趨勢，但就斜率數字(0.3076)看來，增加幅度並不顯著。

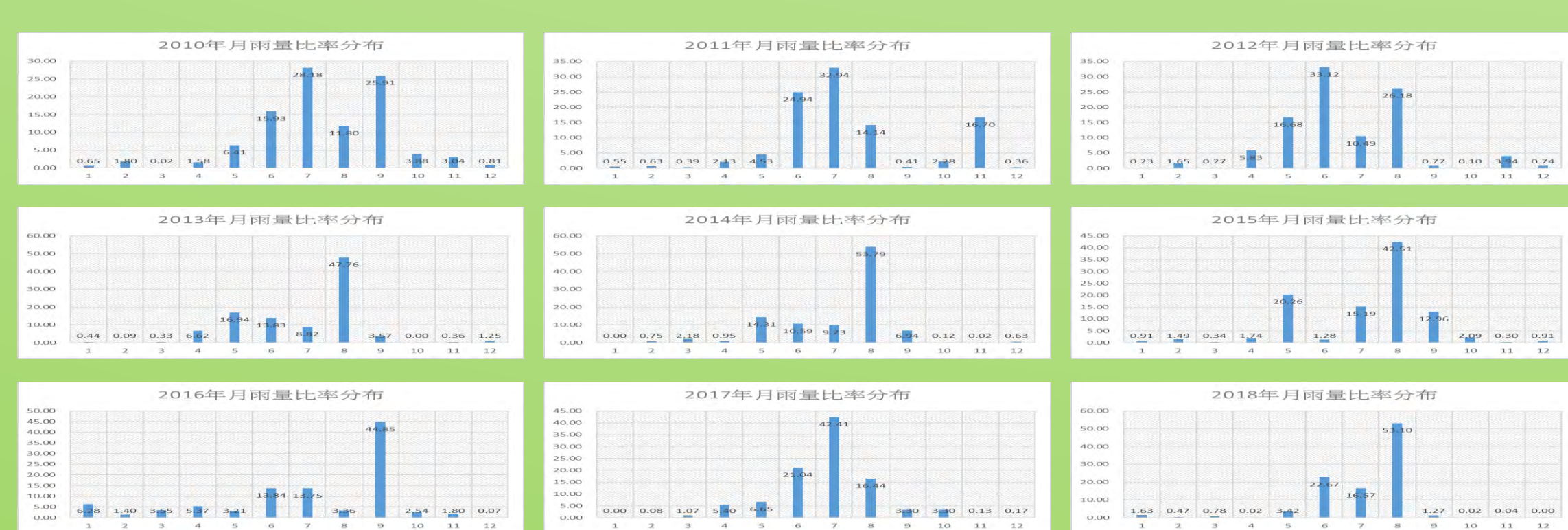
(二) 2010~2018年等9年之逐月雨量分析

問題：每年的月雨量是否越來越集中？

步驟：

- (1)利用電腦軟體Excel分別將每年每個月之日雨量加總，計算出月雨量(MRF)。
- (2)將每年的月雨量加總，計算出當年的年雨量(ARF)。
- (3)計算各年之月雨量比率(MRF_{ratio})，繪製成長條圖觀察分布情形。

結果：



討論：

- (1)自2010年至2012年整年雨量主要落在6、7、8月，這三個月每月降雨佔全年降雨比率在15%-35%間。
- (2)自2013年起，降雨明顯集中在一個月，且當月月雨量比率(MRF_{ratio})超過40%，由此可知，自2013年開始發生明顯降雨集中的現象。

年份	雨量集中月份	月雨量比率 MRF _{ratio} (%)
2013年	8月	47.76
2014年	8月	53.79
2015年	8月	42.51
2016年	9月	44.85
2017年	7月	42.41
2018年	8月	53.10

(三) 2013~2018年等6年之日雨量分析

問題：降雨是否集中在一天？

- 步驟：
- (1)從下載資料取得月日雨量(DRF)。
 - (2)利用電腦軟體Excel分別將每年每個月之日雨量加總，計算出月雨量(MRF)。
 - (3)計算各年之日雨量比率(DRF_{ratio})，繪製成長條圖觀察分布情形。

結果與討論：

各年雨量集中月份的逐日降雨情況亦呈現集中降雨現象，一次大型降雨即降下整個月雨量的一半(50%)以上。



根據以上研究，發現台灣目前的降雨量逐年增加的情況並不明顯，但是，近年降雨有主要集中在一個月的2-3天的現象，大量且集中的降雨不及宣洩甚至回堵，使得原本不會淹水的地區亦發生洪患；以我們居住地為例，實際淹水區域較災害潛勢圖預估地區多且嚴重，乃因將軍溪及曾文溪水位高漲，原本應分別從將軍溪支流與麻豆大排排出的雨水無法排出，累積造成整個區域積水。

第四部份：具滯洪及警戒能力的智慧屋頂儲水裝置設計 - 以Arduino為基礎

(一) 儲水裝置的滯洪能力設計

問題：儲水裝置的滯洪高度需要多高？

- 步驟：
- (1)下載資料取得降雨集中月份當月最高日雨量(DRF_{max})。
 - (2)繪製成折線圖觀察分布情形，並繪製趨勢線以了解歷年變化趨勢。
 - (3)根據趨勢線推估五年後最高日雨量(DRF_{max})作為儲水裝置的滯洪高度。



- 討論：
- (1)各年最高日雨量(DRF_{max})除了2015年顯示減少外，其餘年份均顯示增加現象；另外，觀察趨勢線以對數據變化進行了解，發現趨勢線呈現右高左低，可以推測最高日雨量(DRF_{max})有增加的趨勢。
 - (2)根據趨勢線推估未來5年最高日雨量(DRF_{max})數值如表，依據採用之蓄水容器可使用年限，以2023年最高日雨量452.76mm作為儲水裝置的滯洪高度參考值，因此，設計儲水容器之高度為500mm。

(二) 儲水裝置的防傾倒能力設計

問題：如何防範儲水裝置風吹傾倒？

- 原理：
-
- 風壓P*受風面積d*L = 風力F
- 力臂 L/2
- 力臂 d/2
- 支點 (轉軸)
- (儲水的重力+重物重力) = f
- 槓桿原理計算後，得 PL²=(d²h+W)
- 步驟：
- 在本次儲水裝置底部凹槽加入砝碼，裝滿後搖晃使其密集，再加入砝碼，直至無法再加入為止，測量並計算加入砝碼之總質量(W)。

- 研究結果與討論：
- (1)將本次研究之儲水裝置邊長、高度與砝碼總質量(W)代入原理之算式後，得 25P=16h+12。
 - (2)在9級烈風仍能不傾倒的要求下，以風壓5.2-7.2 gw/cm²代入，計算出使儲水容器遇風不傾倒之儲水高度(h)介於7.4-10.5cm。

(三) 儲水裝置的警戒與排水能力設計

儲水裝置的警戒與排水能力設計以Arduino為基礎，利用溫溼度感測器提供溫度數據協助超聲波感測器進行水位偵測、利用藍芽傳輸水位訊息至手機，並使用繼電器及電磁閥以控制進水(水龍頭)與排水(接地面)，以下說明實驗裝置設計。



硬體設計：

軟體設計：

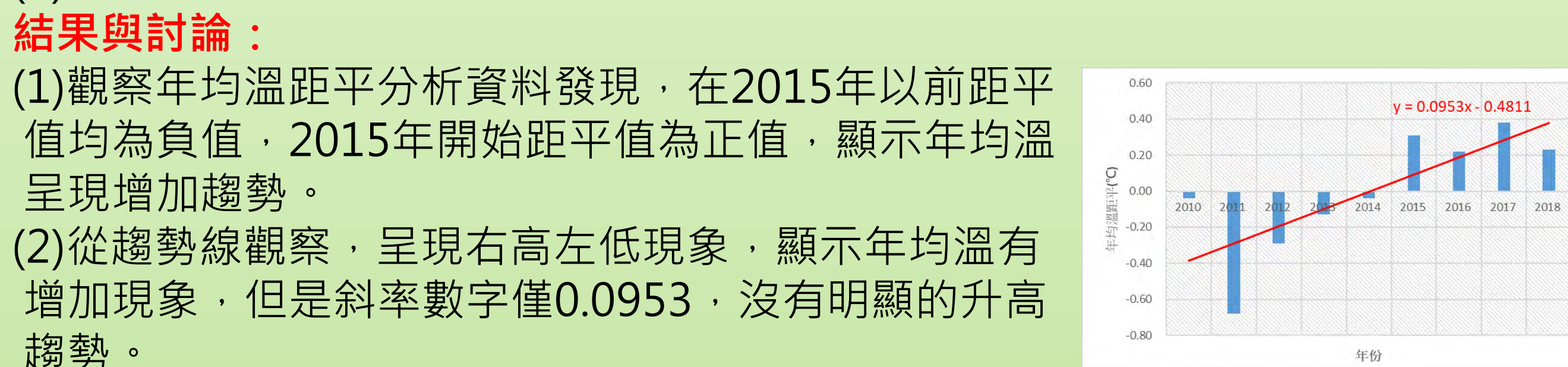
- (1)Arduino程式設計：透過Arduino1.8.5進行程式設計。

- (2)手機app設計：利用MIT App Inventor2進行手機app設計。

第五部份：近年氣溫變化情形分析

(一) 2010~2018年等9年之年均溫分析

- 問題：每年的年均溫是否越來越高？
- 步驟：
- (1)利用電腦軟體Excel將每年之月均溫取平均值，計算出年均溫(YT)。
 - (2)將九年的年均溫平均，計算出九年的平均年均溫(YT_{avg})。
 - (3)計算各年之年均溫距平(YT_{anomaly})。
 - (4)繪製成直條圖觀察距平分布情形並繪製趨勢線了解年均溫變化趨勢。



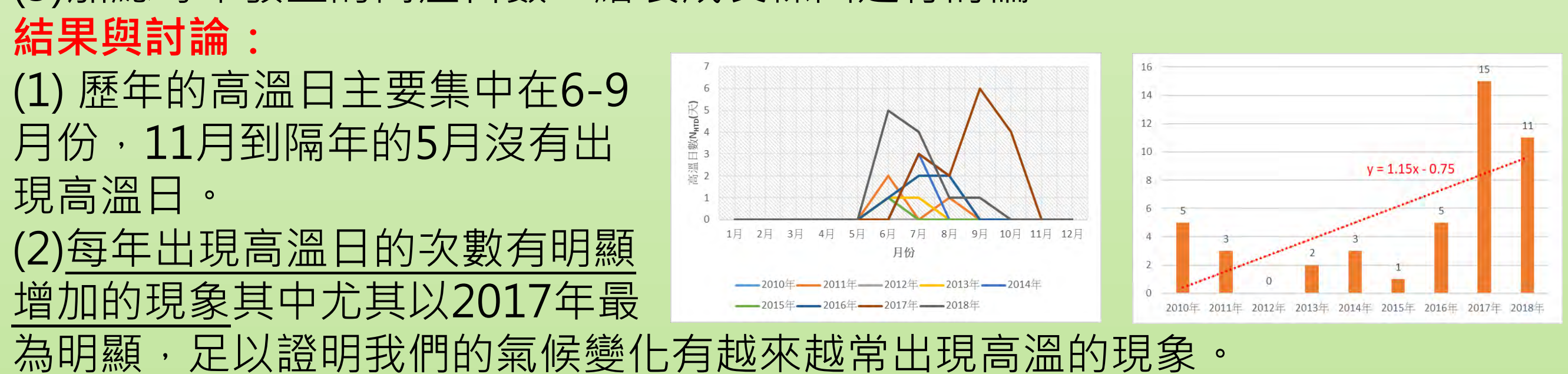
(二) 2010~2018年等9年之逐月均溫分析

- 問題：月均溫是否有極端變化的現象？
- 步驟：
- (1)利用電腦軟體Excel分別將每個月之日均溫取平均值，計算出月均溫(MT)。
 - (2)將歷年月均溫繪製成折線圖，比較歷年折線圖。
- 結果與討論：
- 發現歷年月均溫折線圖均大同小異，未出現特別不同的氣溫變化，因此，推測極
-

端氣溫的變化無法從月均溫的討論分析出來，但新聞不斷更新的氣溫飆新高確是歷歷在目！所以，應從以日為單位進行小尺度分析或許可見端倪。

(三) 2010~2018年等9年之高溫日數分析

- 問題：歷年高溫日數是否增加？
- 步驟：
- (1)從CWB觀測資料查詢系統中取得每日最高溫度記錄，找出最高溫達35°C的日子作為高溫日(HTD)。
 - (2)統計歷年每月的高溫日數(N_{HTD})，並繪製成折線圖進行觀察與討論。
 - (3)加總每年發生的高溫日數，繪製成長條圖進行討論。



根據以上研究，發現台灣目前的氣溫變化有越來越常出現高溫日的現象，在這樣的氣候變化下，人們的生活條件變得嚴苛，酷熱的氣溫造成居住環境悶熱難耐，因此，如何設計一個可行的綠色屋頂以改善悶熱的居住環境問題正是值得我們這次研究的課題。

六、具隔熱及生態平衡能力的智慧綠色屋頂裝置設計

(一) 綠屋頂的栽培介質選擇

- 問題：哪一種栽培介質適合本次研究的綠屋頂設計？
- 步驟：
- (1)將選定之5種不同種類的栽培介質(平均粒徑約0.5cm)分別裝入定植籃中，輕敲使之縫隙減少後再裝滿，重複數次，直至輕敲後無法再裝入栽培介質為止。
 - (2)於定植籃下方放置透明塑膠筒(塑膠筒上500mL處做記號)。
 - (3)利用手機拍攝實驗過程，於定植籃上方開始倒水，觀察塑膠筒內水量。
 - (4)實驗完成後，測量並記錄透水500mL之透水時間(t)及分析透水速度(PV)。

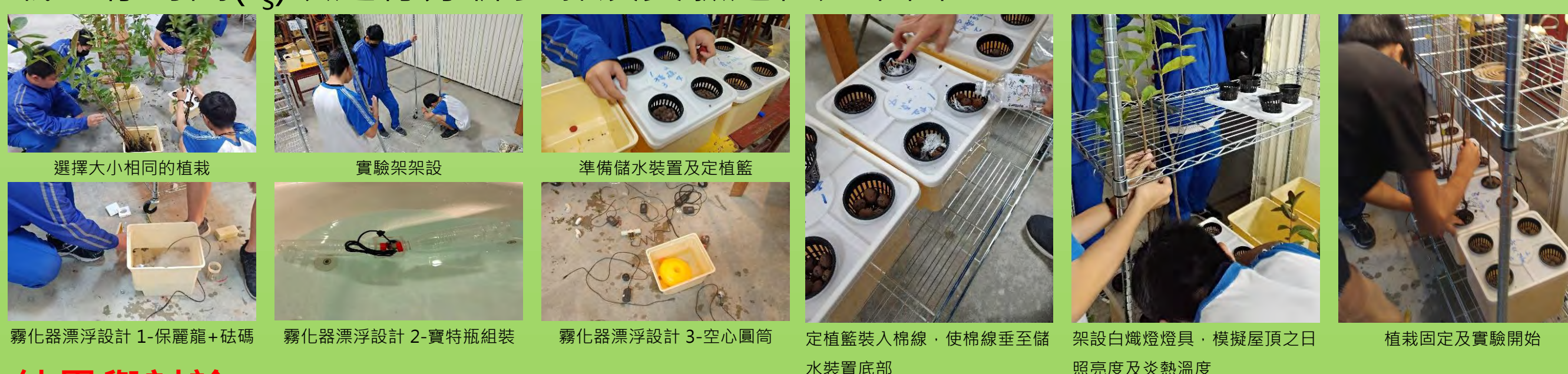
結果與討論：

- (1)5種常用來作為綠屋頂或水耕栽培的栽培介質中以發泡煉石的透水速度最快，水一倒下去就非常迅速地流入水筒中，其次是樹皮，砂的透水情形是漸漸流下，珍珠石則是水倒入後浮了起來，泡棉需等吸滿水才開始透水，透水速度最慢。
- (2)依據本次我們的研究設計，選定發泡煉石作為栽培介質。

栽培介質種類	砂	珍珠石	發泡煉石	樹皮	泡綿
平均透水速度 PV(mL/s)	1.1	0.7	6.1	3.5	0.2
平均透水速度排名	3	4	1	2	5

(二) 綠屋頂植栽供水方式實驗

- 問題：如何讓植栽可以從儲水裝置中獲得生長所需的水分？
- 步驟：
- 以棉線毛細現象及氣霧兩種供水方式及直接供水(作為對照組)進行實驗並記錄植栽生存時間(t_s)以進行分析步驟及實驗過程如下圖。



結果與討論：

從本次實驗觀察及數據計算後發現，棉線供水的植栽生存時間明顯低於另外兩種，而氣霧供水與實驗對照組有相同的效果，因此，選定氣霧供水作為本次研究的主要供水方式。

供水方式	直接供水	棉線供水	氣霧供水
植栽平均生存時間 t _s (天)	60	5	54

(三)栽培介質粒徑大小實驗

問題：哪一種粒徑大小的發泡煉石適合作為本次研究的栽培介質？

步驟：

- (1)五種粒徑的發泡煉石分別裝入定植籃中，植入植栽。
- (2)利用24小時提供氣霧方式進行供水，觀察並記錄植栽生存時間。

結果與討論：

從研究結果發現以最適合的發泡煉石為粒徑4-8mm

，可讓植栽生長良好且較密的防護層可以避免氣霧逸出。

發泡煉石粒徑(mm)	1-4	4-8	8-12	12-16	16-20
植栽平均生存時間 ts(天)	發泡煉石掉出定植籃，無法繼續實驗	53	44	5	3

(四)綠屋頂氣霧耕植實驗

問題：

多長的氣霧提供時間間隔可以讓植栽生長良好？

步驟：

- (1)以發泡煉石粒徑4-8mm種植植栽，並利用arduino uno r3與繼電器撰寫程式以控制霧化器電源方式，設定氣霧提供之時間間隔，繼電器訊號HIGH則霧化器開啟。
- (2)觀察並記錄植栽生存時間。

結果與討論：

當氣霧提供以小時為單位的時間間隔尺度太大，植栽迅速枯萎，因此

進行以分為時間間隔的實驗，並參考文獻進行實驗設計，發現提供氣霧3分鐘、停止氣霧1分鐘的效果最佳。

氣霧提供之時間間隔	24小時不 中斷	開12小時 關12小時	開3分鐘 關1分鐘	開6分鐘 關1分鐘	開9分鐘 關1分鐘
植栽平均生存時間 ts(天)	60	3	58	41	7



(五)綠屋頂隔熱效果實驗(不同高度植栽)

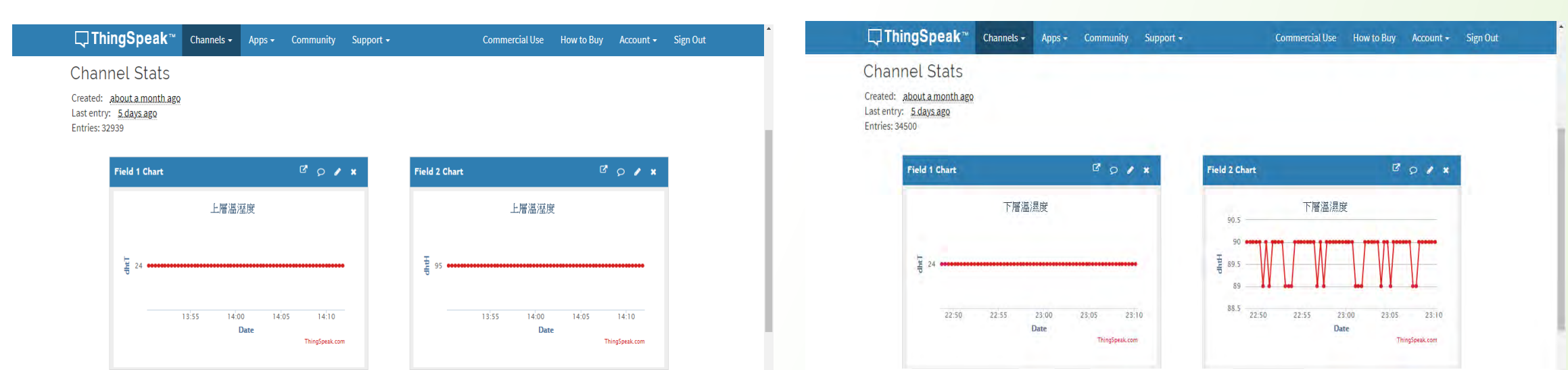
問題：

本實驗設計是否具隔熱效果？不同高度植栽其隔熱效果是否具有差異？

步驟：

- (1)利用arduino uno r3、溫溼度感測器DHT-11與ESP8266自行設計自製溫溼度監控裝置，並將訊息上傳至thingspeak網站，用手機隨時進行監控。
- (2)將自製溫溼度監控裝置設置於實驗架之無植栽處、植栽高度20-30公分處與植栽高度60-75公分處讀取溫溼度值與變化圖。

結果與討論：



- (1)從本次實驗結果發現在當時氣溫29°C的情況下，不論是哪一種植栽都能降溫達5°C(29-24)，顯示儲水裝置與氣霧產生了良好的隔熱效果，但植栽高度無助於隔熱嗎？推測植栽葉片數因素可進一步討論。
- (2)意外發現植栽高度較高的組別溼度數值穩定，而植栽高度較低的組別溼度數值有明顯跳動，值得更進一步的研究。

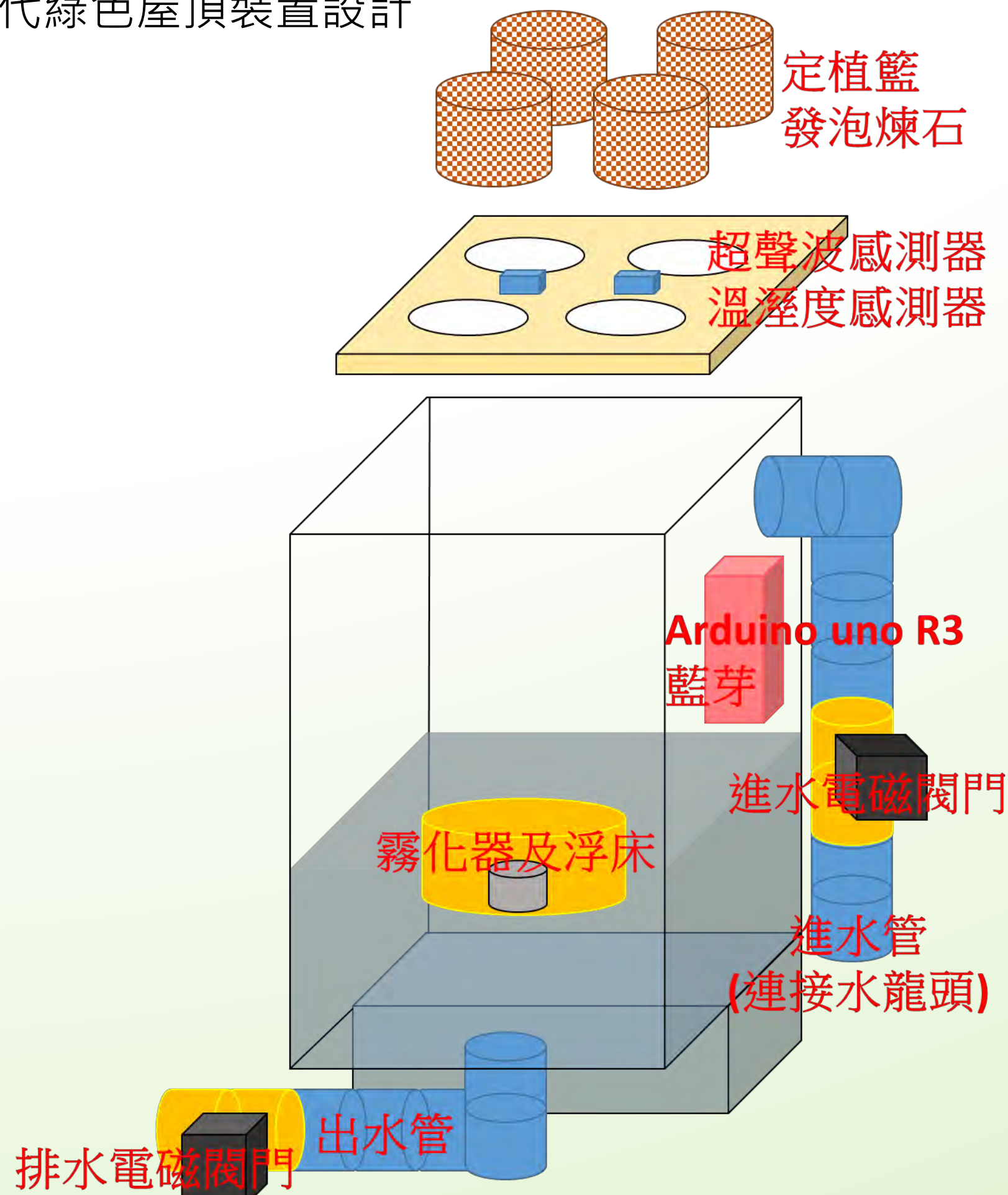
(六)智慧綠色屋頂裝置設計

根據以上實驗，本次智慧綠屋頂的設計有以下幾個最佳栽培條件：

- 1.最適合的發泡煉石為粒徑4-8mm
- 2.最適合的供水方式為提供氣霧3分鐘、停止氣霧1分鐘
- 3.最適合的植栽高度為60-75公分

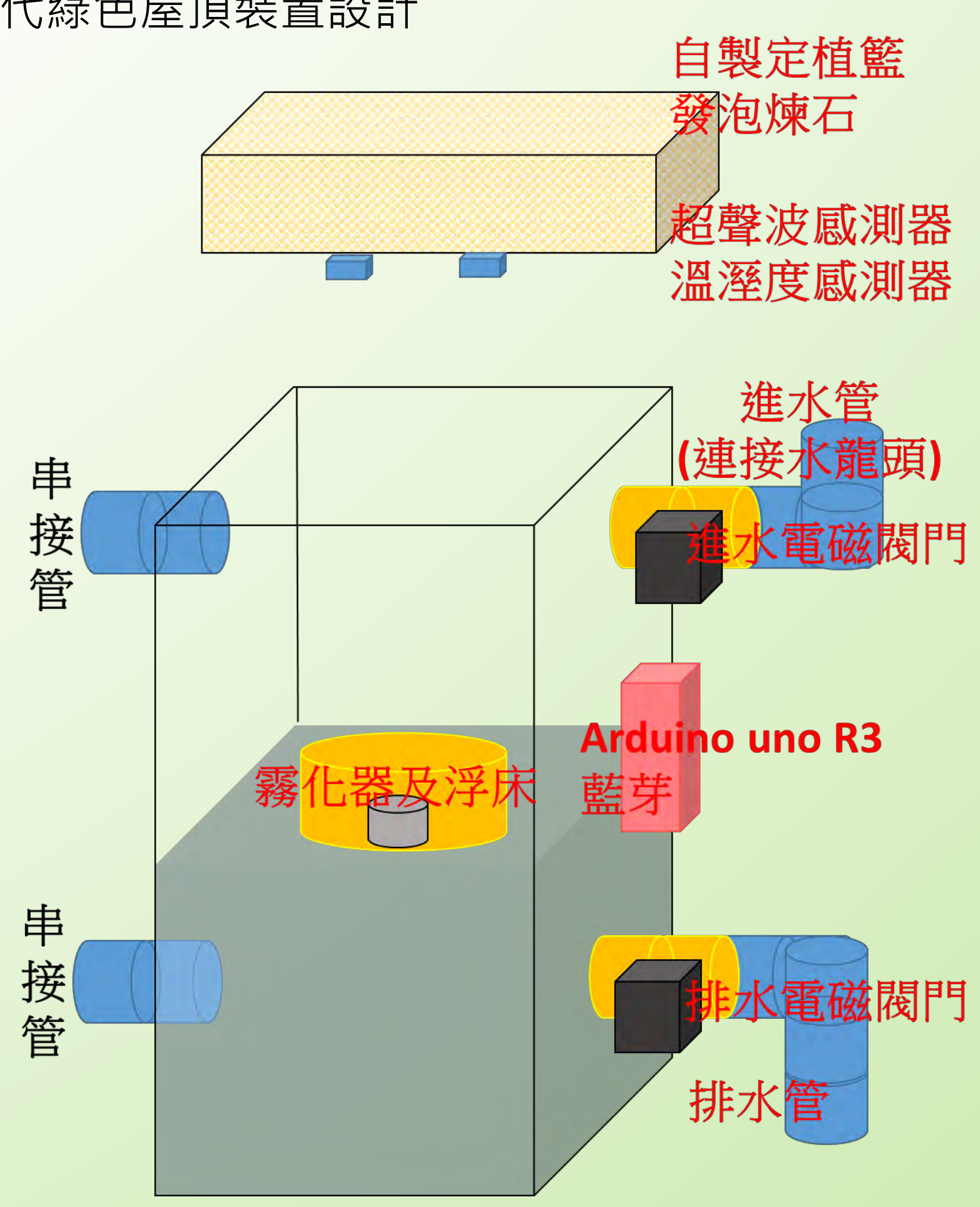
第七部份：兼具滯洪、警戒、隔熱、生態功能的綠色屋頂裝置設計

(一)第一代綠色屋頂裝置設計



在經過一連串的研究過程後，設計出的裝置如上圖，但發現利用定植籃栽種植栽須加裝定植籃架，並不透水，無法進行有效的蓄水，於是進行進一步的設計與修改。

(二)第二代綠色屋頂裝置設計



在經過一連串的研究過程後，設計出的裝置如上圖，進行實際種植，截至目前為止，植栽生存狀況良好。



陸、結論

- 一、台灣目前的降雨量逐年增加的情況並不明顯，但是，降雨有主要集中在一個月的2-3天的現象，大量且集中的降雨不及宣洩甚至回堵，使得原本不會淹水的地區亦發生洪患。
- 二、台灣目前的氣溫變化有越來越常出現高溫日的現象。
- 三、因應五年的滯洪需求，故儲水容器之高度為500mm，防風傾倒能力為9級風，並利用超音波感測器測量水位高度、並傳送水位高度至手機以提供警戒。
- 四、本次智慧綠屋頂的設計有以下幾個最佳栽培條件為發泡煉石為粒徑4-8mm、供水方式為提供氣霧3分鐘停止氣霧1分鐘(即空氣濕度95%)、植栽高度為60-75公分。
- 五、淹水情形通常發生在下一天雨之後，因此，本實驗設計係考慮一天的滯洪量，以延緩大量雨水四溢的淹水慘狀，未來可以朝蓄積更多的雨水以作為家庭用水的方向繼續研究。
- 六、本實驗目前以原生種土芭樂樹做為綠屋頂之植栽，除了耐旱、耐光及屋頂承重等考量外，土芭樂樹之成長緩慢，易於照顧亦為重要考量之一，未來可以嘗試種植他種植物或以不同植物混合栽種等方式進行實驗，以創造水泥叢林上之生態跳島。
- 七、本次儲水裝置設計之風吹不傾倒推算係以9級風為考量進行設計，未來若能再arduino板上加上風壓感測器，利用即時測得之風壓進行運算，求得當時所需之水位高度，控制蓄水之進出，將可讓本裝置更具實用性。

柒、參考資料

- 1.蔡宗輝 (2015)，氣霧耕栽培對六種不同葉菜類生長特性之影響，國立中興大學農藝學系所碩士論文。
- 2.鍾尚諭 (2007)，雨水貯蓄結合滯洪應用於工業區之研究，中華大學土木與工程資訊學所碩士論文。
- 3.馬天日 (2018)，發泡煉石薄層綠屋頂熱效應之研究，東海大學景觀學所碩士論文。
- 4.張文亭 (2014)，建築基地雨水貯留滯洪設施之成效評估-以新北市林口區為例，海洋大學河海工程學系碩士論文。
- 5.蔡宏達 (2007)，雙槽式滯洪池調洪成效探討，成功大學水利及海洋工程學碩士論文。