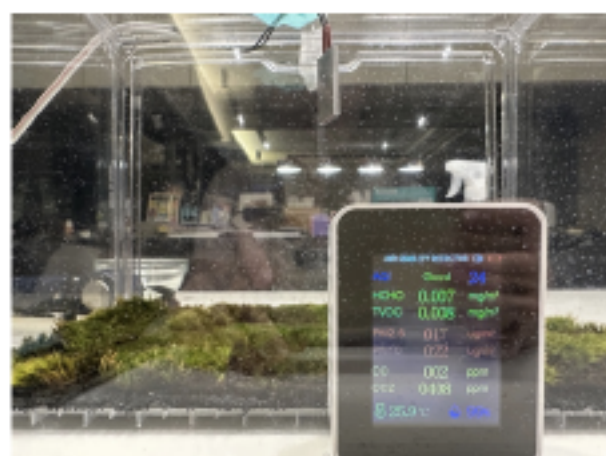


放置	同一水平面。
熱源配置	以 60° C 的陶瓷恆溫加熱片懸掛於箱頂中央 往下約 10 公分處。

4、實驗步驟

- (1) 含水狀態一致：D 箱（無苔蘚實驗箱）的基質先以噴水方式補充水分，並以手摺壓至無自由水滲出、僅維持微濕狀態，使與 A B C 箱之基質含水量一致。調整後所有實驗箱打開靜置 30 分鐘，使苔蘚與基質達到自然平衡含水狀態。
- (2) 紀錄空箱時之溫度為基線。
- (3) 紀錄放入苔蘚板，未加熱時實驗箱之溫度。
- (3) 啟動陶瓷加熱片，維持恆溫 60° C，加熱 10 分鐘。
- (4) 關閉加熱片後繼續記錄 20 分鐘冷卻階段。
- (5) 每組樣本重複三次實驗。



5、實驗數據請見附錄一。

(二) 降噪實驗（聲波吸收能力測試）

1、實驗目的

在自然濕度下，測量三種不同生活型態苔蘚鋪面對聲音的減弱程度，比較它們前後的分貝差。

2、實驗環境條件

操縱變因	苔蘚覆蓋情形			
	高草型 尖葉曲尾苔	短草型 傘形曲柄苔	匍匐型 毛尖卷柏苔	無苔蘚 僅基質
應變變因	苔蘚盤後的分貝變化值			
控制變因	背景噪音控制於 35 分貝以下、室內散射光、相對濕度 70-80%、苔蘚覆蓋面			

	積（100%）、基質種類與厚度、塑膠網格配置、音源種類（粉紅噪音）、音量大小（90 分貝）、音源位置、量測距離與位置皆保持一致。
補充說明	本研究原本是以封閉實驗箱內進行噪音量測，但實驗結果不是無差異，就是有苔蘚板之實驗箱的分貝更高一點，覺得很疑惑。找了相關資料，發現可能是因為壓克力箱內部易產生多重反射與駐波效應。所以最後決定不採用實驗箱測試，而改採開放式聲波傳遞實驗，以便真正測試出苔蘚的吸音能力。

3、實驗配置說明

苔蘚鋪設方式	無使用實驗箱。於木製掛衣架下方放置一層塑膠網格板，其上放置基質，再以相同覆蓋率的苔蘚鋪設於基質上，形成水平苔蘚層。再以積木將苔蘚層架高 10 公分。
音源位置	音源置於苔蘚板正上方約 120 公分處。
量測位置	以分貝計量測「苔蘚板後方（穿透側）」10 公分處的聲級。



4、實驗步驟

- (1) 含水狀態一致：D箱（無苔蘚實驗箱）之基質（活著君）先以噴水方式補充水分，並以手摀壓至無自由水滲出、僅維持微濕狀態，使與A B C箱之基質含水量一致。調整後所有實驗箱打開靜置 30 分鐘，使苔蘚與基質達到自然平衡含水狀態。
- (2) 以模擬生活噪音環境的粉紅噪音為音源，並固定音量 90 分貝。
- (3) 播放粉紅噪音 60 秒，記錄苔蘚板後方 10 公分處之分貝。
- (4) 每組樣本重複三次實驗。

5、實驗數據詳見附錄二。



(三) 空氣淨化實驗 (PM_{2.5} 吸附能力)

1、實驗目的

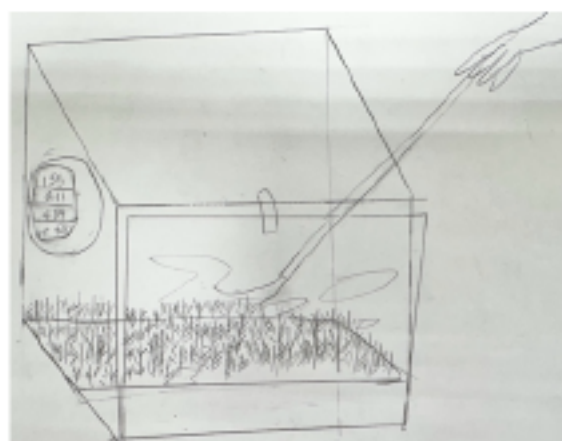
在自然濕度下，測量三種不同生活型態苔蘚鋪面對空氣中懸浮微粒 (PM_{2.5}) 的淨化效果，比較它們在相同條件下的濃度變化和衰減速度。

2、實驗環境條件

操縱變因	苔蘚覆蓋情形			
	高草型 尖葉曲尾苔	短草型 傘形曲柄苔	匍匐型 毛尖卷柏苔	無苔蘚 僅基質
應變變因	箱內 PM _{2.5} 濃度隨時間的變化值			
控制變因	實驗箱尺寸與材質、基質種類與厚度、苔蘚覆蓋面積 (100%)、室內環境溫度 (23-25° C)、相對濕度 (70-80%)、光照條件 (室內散射光)、通風條件 (0.5 cm 通氣縫)、PM _{2.5} 初始背景值 (< 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、污染源種類 (線香)、污染源放置位置與時間、感測器位置皆保持一致。			
補充說明	通氣縫設計參考生態箱與環境模擬箱常用的通氣設定。			

3、實驗配置說明

苔蘚鋪設方式	在箱底放置一層塑膠網格板，其上放置基質，再以相同覆蓋率的苔蘚鋪設於基質上，形成水平苔蘚層。對照組箱體則無苔蘚。 而苔蘚厚度未控制一致，因其屬不同生活型態的自然特徵，厚度差異也是操縱變因的一部分，而是以表面積覆蓋率皆 100% 為控制變因。
感測器放置	PM _{2.5} 感測器固定於內側邊角 (通氣縫的另一側)。
污染源位置	線香置於前側箱頂，由通氣縫往下 10 公分處，停留 2 秒後立即拿出。



4、實驗步驟

- (1) 含水狀態一致：D 箱 (無苔蘚實驗箱) 之基質 (活著君) 先以噴水方式補充水分，並以手擰壓至無自由水滲出、僅維持微濕狀態，使與 A B C 箱之基質含水量一致。調整後所有實驗箱打開靜置 30 分鐘，使苔蘚與基質達到自然平衡含水狀態。
- (2) 記錄測試前開放空間 5 分鐘的 PM_{2.5} 背景值。
- (3) 紀錄個別苔蘚層放入實驗箱之 PM_{2.5} 數值 (0 分鐘)。
- (4) 將點燃線香放於指定位置 2 秒鐘，而後立即移出，確保箱體只留有通氣縫。

(5) 記錄每分鐘實驗箱之 PM2.5 數值，直到 PM2.5 降至背景值。

(6) 完成後通風約 10 分鐘，並將感測器校正回歸，進行下個箱體實驗；一樣每組重複三次實驗。

5、實驗數據詳見附錄三。



四、行動方案之設置陽台苔蘚氣候站

(一) 行動方案動機與目的

在前面做的三種箱體實驗都是在室內、把所有條件都控制得很固定的狀況下做的，和我們每天生活的環境差很多。所以我想：如果苔蘚真的能改善環境，那它在真實生活中是不是也能有效果呢？

所以我設計了一個「行動方案」，把苔蘚放在我們家陽台的半戶外環境中，建置一座「苔蘚氣候站」。我會用感測器長時間記錄陽台的溫度、濕度、噪音和 PM2.5，來觀察：

- 1、苔蘚能不能穩定附近的溫度？（設置苔蘚氣候站時已進入秋冬）
- 2、能不能讓陽台變比較安靜？
- 3、能不能減少空氣中的 PM2.5？

(二) 硬體設置

- 1、苔蘚設置：苔蘚植栽鋪設於活著君基質上，基質周圍縫製吸水棉線並連接蓄水桶，使水分可透過毛細作用自動補給，避免因長時間高溫曝曬而快速乾枯。
- 2、環境感測系統：溫度感測器放置陽台中央地板，於苔蘚層迎風面後側 10 公分處，分三時段量測，每時段測量約 1 至 2 分鐘以取溫度及 PM2.5 的穩定值及分貝的平均值。

（三）行動方案策略：怎麼比較陽台「有沒有苔蘚」的差別？

為了知道陽台鋪上苔蘚後，對溫度、噪音和空氣品質是不是真的有幫助，我把整個行動方案分成兩個階段：

行動前（無苔蘚）	行動後（有苔蘚）
先在原本的陽台上，為期三個禮拜固定早、午、晚量測溫度、分貝及PM2.5，當作「沒有苔蘚時」的基準值。	再把苔蘚氣候站佈置在同一個位置，用同一套感測器、同樣的時間和方法，重新量測，為期三個禮拜，當作「有苔蘚時」的數據。
	

兩個階段都會同時記錄「陽台實測數值」和「官方氣象或空氣品質站的數值」，用來當作外面大環境的參考。

1、溫度面向

（1）行動前（無苔蘚）

我先在陽台三個固定時段（早上、下午、晚上）量測陽台的「實測溫度」，並與三重區「官方溫度」做比較，記錄兩者的差異。

（2）行動後（有苔蘚）

把苔蘚氣候站放在同樣位置，用同樣三時段、同樣儀器，再次量測陽台的「實測溫度」，並與「官方溫度」做比較。

（3）分析方法：因行動前後的量測季節不同，不直接比較兩階段的絕對溫度高低，以避免季節差異造成誤判。本研究改以「溫度穩定性」作為分析重點，觀察在外界官方氣溫變動時，陽台實測溫度是否仍能維持在較穩定的範圍內。

分析方法之實拍範例	
(無苔蘚測三個禮拜，有苔蘚測三個禮拜，且每天三個時段)	
陽台實測	官方數據
無苔蘚陽台 10/10 晚上	
	
有苔蘚陽台 12/10 下午	
	

2、噪音面向

(1) 行動前 (無苔蘚)

在陽台三個時段量測「實際分貝」，作為沒有苔蘚時的噪音基準。

(2) 行動後 (有苔蘚)

把苔蘚放上陽台後，用同樣位置與三時段，再量一次「實際分貝」。

(3) 分析方法：比較每個時段「無苔蘚陽台 vs 有苔蘚陽台」的平均分貝，若多數時段「有苔蘚的分貝比較低」，就代表苔蘚有幫助吸收或減弱噪音。

分析方法之實拍範例	
(無苔蘚測三個禮拜，有苔蘚測三個禮拜，且每天三個時段)	
無苔蘚陽台實測 10/13 下午	有苔蘚陽台實測 12/10 下午
台灣省新北市三重區三重區五中街229 号 2025-10-13 16:28 時長 01:00 最大值 71 最小值 54 平均值 59	台灣省新北市三重區三重區集賢街5 号 2025-12-10 16:48 時長 01:00 最大值 81 最小值 42 平均值 54

3、空氣品質面向 (PM2.5)

(1) 行動前 (無苔蘚)

三個固定時段量測陽台的「實測 PM2.5」，並與三重區「官方 PM2.5」比較，觀察兩者差異。

(2) 行動後 (有苔蘚)

把苔蘚氣候站設置後，再以相同方式、相同時間點量測「實測 PM2.5」，與官方數據比較。

(3) 分析方法：比較行動前後「陽台實測 PM2.5 與官方 PM2.5」的差距變化。若有苔蘚後，差距縮小或下降，代表苔蘚有機會在半戶外環境中攔截、吸附部分 PM2.5。

分析方法之實拍範例	
(無苔蘚測三個禮拜，有苔蘚測三個禮拜，且每天三個時段)	
陽台實測	官方數據
無苔蘚陽台 10/10 晚上	
	



4、行動方案共六週數據於附錄四。

伍、 資料整理與分析

完成三項實驗後，我將所有原始數據整理起來，並學用 Excel 做成折線圖、長條圖來呈現三種苔蘚的表現。同時，也將行動方案「苔蘚氣候站」的真實環境觀察結果一起比較。以下將依序說明各項資料的分析結果。

一、控溫實驗資料分析

(一) 苔蘚對溫度上升的抑制效果

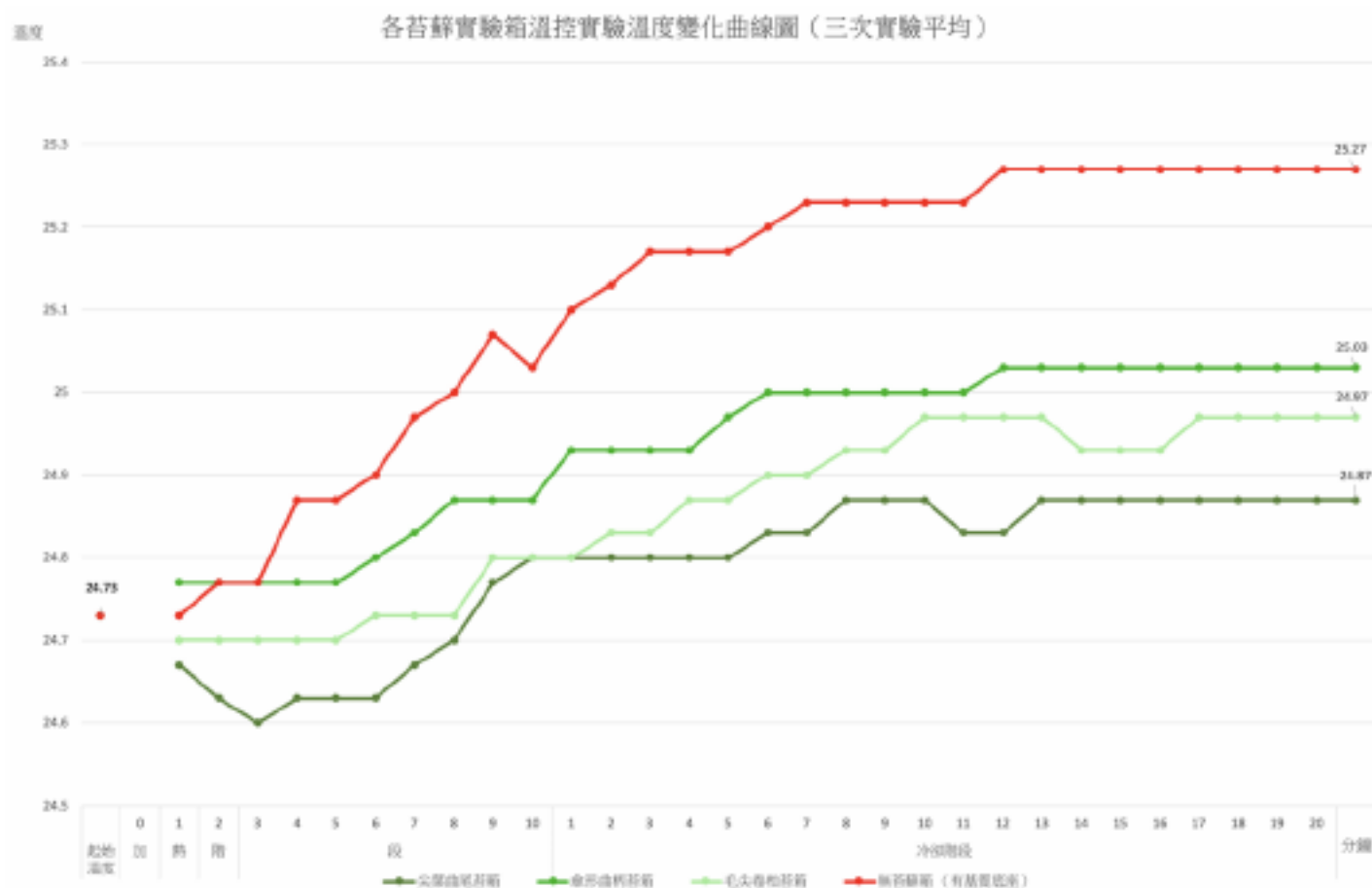
我將三次實驗結果數據平均後整理為下表。

	尖葉曲尾苔	傘形曲柄苔	毛尖卷柏苔	無苔蘚（僅基質）
空箱起始溫度	24.73	24.73	24.73	24.73
最低溫度	24.6	24.77	24.7	24.73
最高溫度	24.9	25.03	24.97	25.27
最高溫與空箱溫度差	0.17	0.3	0.24	0.54

並以 Excel 繪製「各苔蘚實驗箱溫度變化曲線圖」。由下圖中可觀察到，加熱開始後，無苔蘚實驗箱（有基質底座）溫度上升最為明顯，最高溫度約達 25.26°C，上升了，而三個苔蘚實驗箱的溫度上升幅度則明顯較小。此結果顯示，即使無苔蘚實驗箱具有與苔蘚箱相同濕度，在抑制溫度上升的能力仍明顯低於有苔蘚覆蓋的實驗箱。

此實驗結果可以應證了前面文獻探討的理論機制，苔蘚自己可吸收並保留大量水分，在加熱過程中水分逐漸蒸發，而蒸發過程會吸收周圍環境的熱能，形成類似植物蒸散冷卻的效果，進而降低實驗箱內溫度上升的速度。

而無苔蘚箱的基質雖然亦含有水分，但苔蘚群落有別於基質，其可以吸水、儲水，再慢慢釋放水分來持續蒸散。且苔蘚有葉片、莖等多層結構，其蒸散表面積比原本平面基質增加許多倍，提高了降溫效果。



(二) 三種苔蘚溫控能力的差異

再從圖中進一步比較三種苔蘚實驗箱的溫度曲線，可以發現不同生活型態的苔蘚在溫控能力上存在差異。整體而言，溫控效果由強至弱依序為：尖葉曲尾苔 > 毛尖卷柏苔 > 傘形曲柄苔。

我覺得這差異可能與三種苔蘚的生活型態有關。在文獻探討有提到尖葉曲尾苔屬於較高的直立型苔蘚，其莖葉形成較蓬鬆的立體結構，裡面有許多的微小空氣層或孔洞。這些空氣層能降低熱能的傳導，因此具有較好的隔熱效果。同時，較高的結構也可能使蒸發冷卻作用更明顯。

相較之下，傘形曲柄苔群落較為緊密且高度較低，含水量可能較少，溫控效果也可能降低。此可能也與曲柄苔本身的耐旱適應特性有關，緊密結構雖可減少水分流失，但同時也可

能降低蒸散速率，因此溫控效果相對較弱。

（三）未加熱即出現降溫的特殊現象

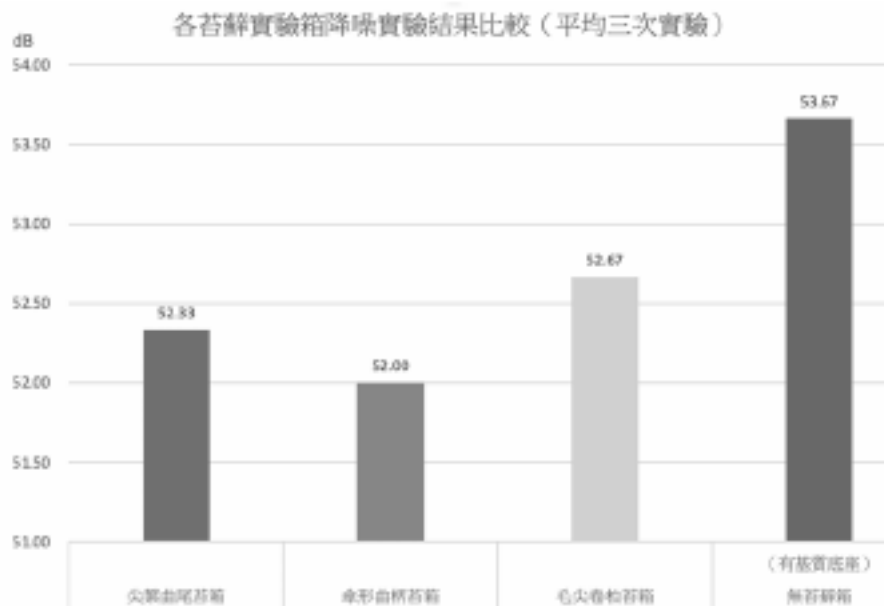
在實驗過程中觀察到一個有趣的現象：當空箱溫度調整至相同起始溫度後，將不同苔蘚放入實驗箱內，即使尚未開始加熱，部分苔蘚箱的溫度已出現輕微下降，其中以尖葉曲尾苔與毛尖卷柏苔最為明顯。

二、降噪實驗資料分析

（一）苔蘚對降噪效果之比較

由下圖中可觀察到，三種苔蘚盤後接收器的平均分貝皆略低於純基質盤。其中傘形曲柄苔的平均分貝值最低，約為 52.0 dB，其次為尖葉曲尾苔與毛尖卷柏苔，而無苔蘚（有基質底座）的聲音強度最高，約為 53.6 dB。

整體而言，三種苔蘚實驗箱皆呈現出一定程度的降噪效果，但降噪幅度約為 1-1.5 dB，差異其實不大。



（二）不同苔蘚降噪能力的差異

雖然降噪的效果沒有很明顯，但三種苔蘚的降噪能力還是有點差異，我推測跟前面提到的苔蘚不同的生活型態與群落結構有關。傘形曲柄苔屬短草型苔蘚，群落具有一定厚度，內部形成較為密集的孔隙結構，較類似於一般常用的吸音材質。相較之下，尖葉曲尾苔屬高草型苔蘚，雖然植株高度較高，但群落結構較為鬆散，孔隙很大，聲波可能較容易穿過而不易被吸收。而毛尖卷柏苔屬於匍匐型苔蘚，其群落通常呈現薄薄的一層，吸音厚度較小，可能導致降噪效果有限。

（三）降噪效果不明顯的原因

這次實驗有無苔蘚的降噪幅度約為 1-1.5 dB，沒有很大的差異。我覺得是因為此次實在是相對於開放的空間中進行測量。聲音在開放空間中會向四周傳播與擴散，不是所有聲波都直接傳向苔蘚層，使測得的降噪差異較不明顯。

而為什麼會採開放空間來設計降噪實驗？一開始我如同其他實驗採密閉實驗箱進行測試，但在測試過程中發現沒有顯著差異，甚至有苔蘚的實驗箱 dB 值有時更高，覺得很疑惑且一直思考可能的原因。找了相關資料提到，聲波在密閉空間內容易產生多次反射，形成駐波（standing wave）現象，這時分貝計所測得的聲音強度會受到反射聲波影響，所以結果不準。

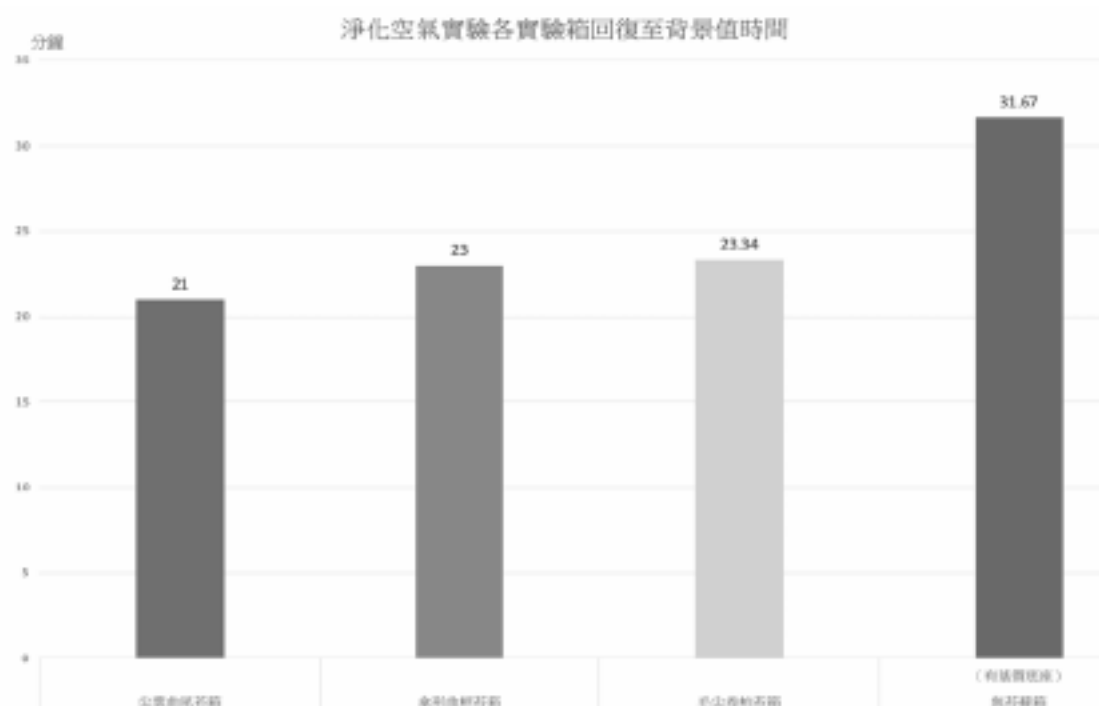
因此，在降噪實驗的設計才改採較為開放的測試方式，使聲波傳播較接近自然環境中的情況，以避免密閉空間內聲波反射造成的測量誤差。

三、空氣淨化（PM2.5）資料分析

（一）苔蘚的淨化空氣能力效果

由下方 PM2.5 平均回覆背景值的時間長條圖可觀察到，三種苔蘚實驗箱中的回復的時間皆明顯低於無苔蘚實驗箱，回復的時間快的約 10-12 分鐘，顯示苔蘚對空氣中的懸浮微粒具有相當程度的淨化能力。

根據文獻資料的理論推測，苔蘚群落能增加空氣與植物表面的接觸機會，使懸浮微粒較容易附著並被截留。且葉片表面通常具有許多微細突起與不規則結構，群落內部也有大量孔隙空間，形成具有過濾棉網般的過濾層。此外，苔蘚表面常保持濕潤，容易形成薄水膜，使懸浮微粒在接觸後更容易被吸附或黏附，因此苔蘚能達到淨化空氣的效果。



（二）不同苔蘚淨化空氣能力差異之比較

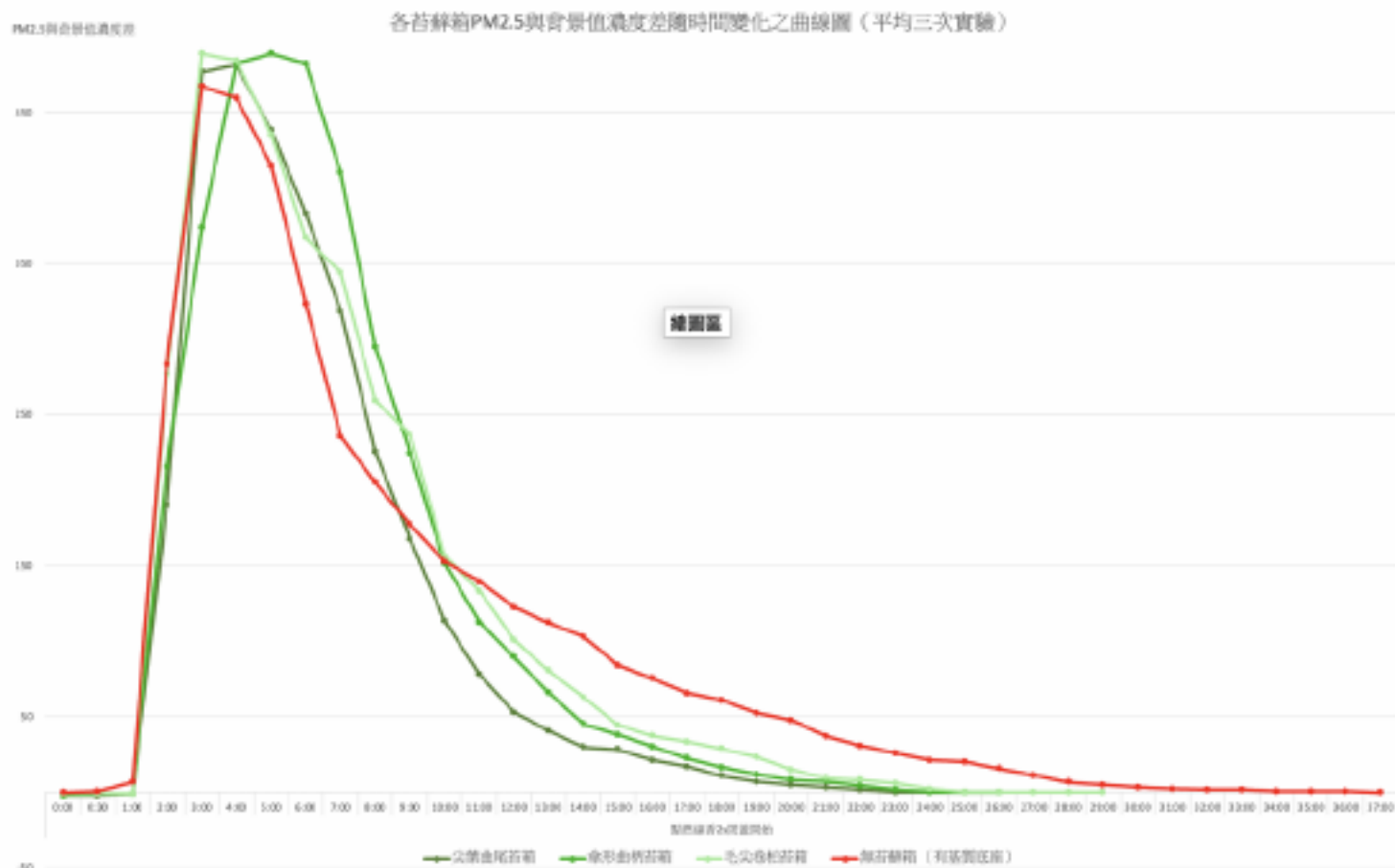
而從 PM2.5 平均回復背景值的時間長條圖亦可發現，不同生活型態的苔蘚在淨化空氣能力上呈現一點差異，依回復至背景值時間快慢依序為：尖葉曲尾苔 > 傘形曲柄苔 > 毛尖卷柏苔。推測其原因也應該與苔蘚的生活型態及群落結構有關。

尖葉曲尾苔屬於高草型苔蘚，植株高度較高，群落具有較大的立體結構，可能增加與空氣接觸的表面積，使空氣中的懸浮微粒較容易被攔截。傘形曲柄苔則屬於短草型苔蘚，其群落高度較低但結構較為緊密，內部形成許多密集孔隙，當空氣通過時，懸浮微粒可能更容易被攔截並附著於苔蘚表面。相較之下，毛尖卷柏苔屬於匍匐型苔蘚，其群落通常呈現較薄的一層覆蓋於基質表面，群落厚度較小，因此可提供的攔截空間相對有限。

（三）特殊發現：苔蘚淨化空氣能力的續航性

在實驗時發現了一個很有趣的現象，無苔蘚實驗箱（僅基質）在實驗初期的 PM2.5 濃度下降速度較快，如下圖 PM2.5 濃度隨時間變化的曲線圖所呈現。推測其原因可能與基質材料本身的多孔隙結構有關。活苔蘚內部具有大量細小孔洞，其結構類似多孔過濾材料，當含有懸浮微粒的空氣通過時，部分 PM2.5 可能被孔隙攔截或附著，因此在實驗初期出現 PM2.5 濃度快速下降的現象。

然而，隨著實驗時間延長，無苔蘚實驗箱中 PM2.5 濃度下降的速度逐漸減緩，顯示基質材料的吸附能力可能逐漸飽和。相較之下，苔蘚實驗箱中的 PM2.5 濃度則持續穩定下降，並在實驗後期較快回到接近背景值，顯示苔蘚在長時間淨化空氣方面具有較好的續航能力。



四、行動方案：苔蘚氣候站資料分析

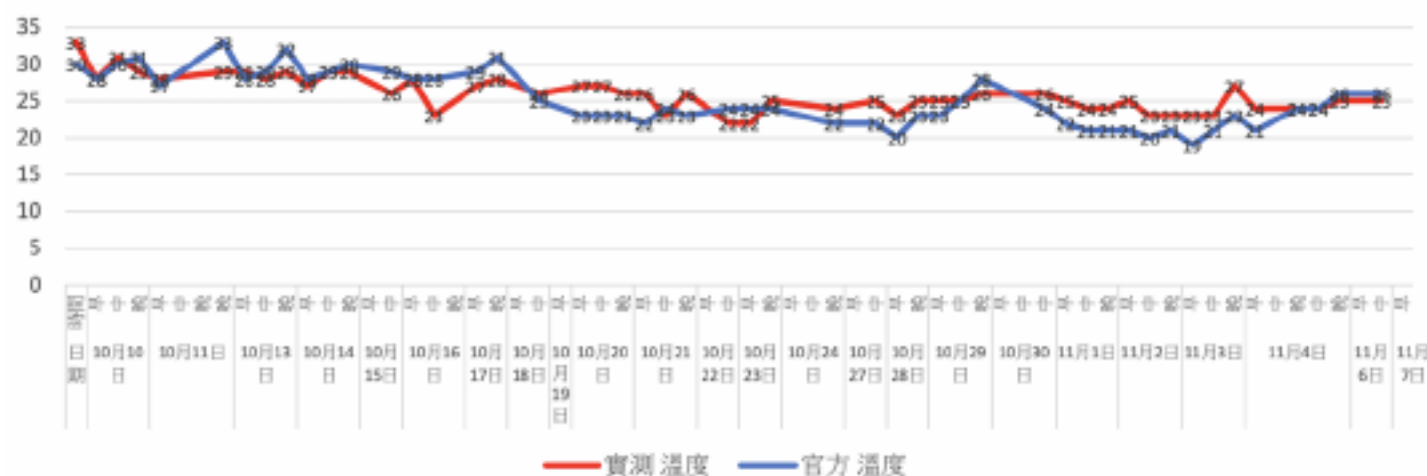
(一) 控溫效果分析

行動方案在溫度面向不同於實驗箱的分析，不直接比較「無苔蘚陽台」與「有苔蘚陽台」的實測溫度數字高低，因為兩階段量測時間分別是不同的季節：行動前（無苔蘚）主要位於夏季，行動後（有苔蘚）則位於秋冬季。因此，在行動方案中的溫度分析重點，著重在探討有苔蘚陽台（行動後）是否在半戶外具有穩定溫度的能力。

由下列圖表（一）可觀察到，在未設置苔蘚氣候站時，從10月至11月期間正處於夏季至秋季，此季節本身溫差就不太。而此圖表中顯示實測溫度跟三重官方溫度之差距不會太大，大多在4°C以內。

而由下列圖表（二）可觀察到，在設置苔蘚氣候站之後，從12月到隔年2月期間正處於秋末及冬季，臺灣此季節本身溫差就較大。而此圖表中可見，雖然三重官方溫度上下大幅波動（12至26°C），但在有苔蘚之陽台實測溫度整體變化幅度小很多（綠色折線），且大都在20至25°C區間內，並整體位於藍線之上，不僅明顯呈現穩定溫度的波動狀態，也有減緩溫度過低的功能。

圖表（一） 夏秋季 無苔蘚陽台 實測與官方溫度之比較



圖表（二） 秋冬季 苔蘚陽台 實測與官方溫度之比較



（二）降噪效果分析

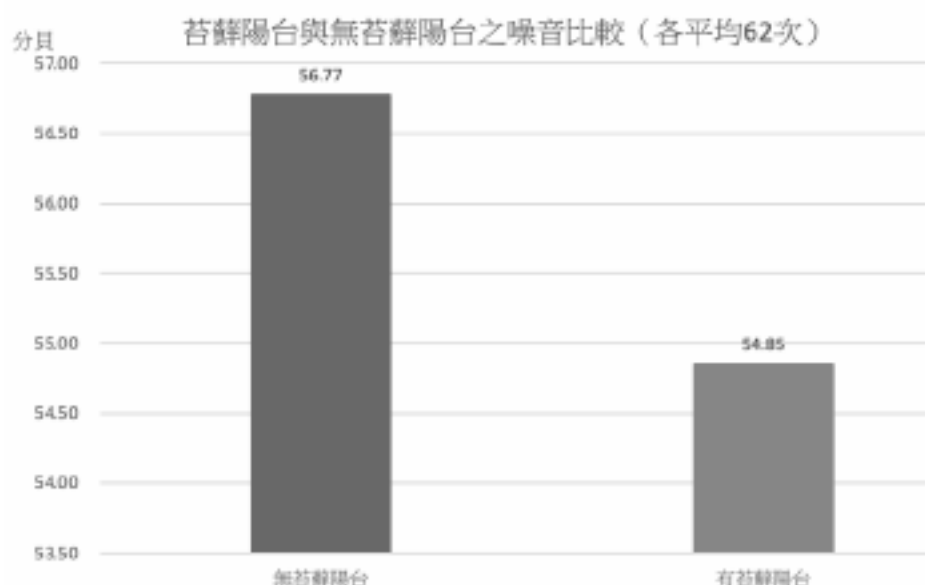
此研究比較行動前（無苔蘚）與行動後（有苔蘚）之陽台分貝數據，並以三個固定時段（早上、下午、晚上）進行平均值分析。由圖表結果可觀察到：

1、整體分貝值略為下降

行動後陽台在三個時段的平均分貝值，相較行動前皆呈現小幅下降 1.92 dB，顯示苔蘚對環境聲音具有一定程度的吸收或減弱效果。

2、聲音波動仍受外在環境為多

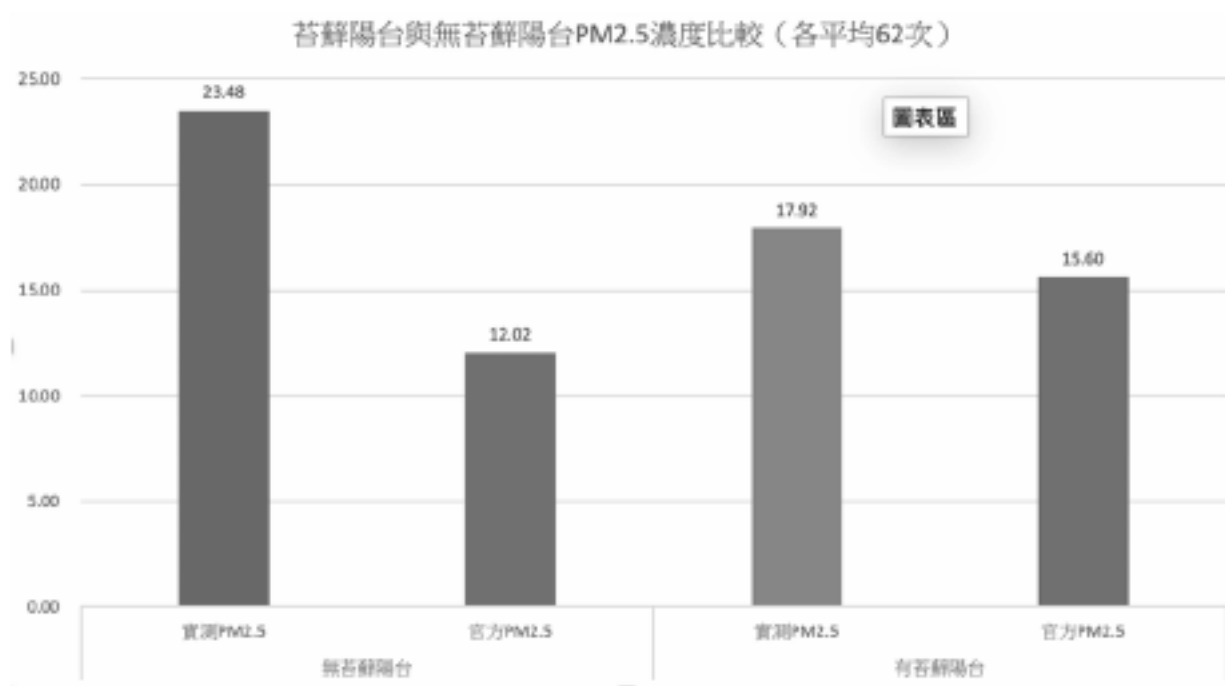
雖然觀察到分貝略為下降，但整體仍與外界環境大致一致，顯示苔蘚在開放式空間中的降噪能力，無法完全抵抗外部強烈聲源。



（三）淨化空氣效果

在空氣淨化效果上，本研究比較行動前（無苔蘚）與行動後（有苔蘚）之陽台 PM2.5 濃度，並同時參考三重區官方測站數據，以判斷苔蘚是否能對半戶外環境中的懸浮微粒產生影響。由下列圖表中可觀察到，在無苔蘚陽台實測的平均 PM2.5 比官方多了 11.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而在有苔蘚陽台的實測比官方僅多 2.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

進一步比較「陽台 PM2.5」與「三重官方 PM2.5」之差異可發現：在無苔蘚階段，陽台 PM2.5 數值與官方測站之間差距較不穩定，所有時段的 PM2.5 實測皆不小於官方數據。而在有苔蘚階段，陽台 PM2.5 數值與官方數據的差距逐漸縮小，甚至有約 14 次實測數據略低於官方數據的狀況。由此數據可推論，苔蘚即使在半戶外空間在仍具有攔截或減少部分懸浮微粒的能力，使局部空氣品質略優於外界平均環境。



從針對一開始的研究問題所進行的文獻探討及箱體實驗與行動方案的結果分析，可以整理以下結論：

一、箱體實驗結果

箱體實驗結果顯示，苔蘚在三項環境指標上皆具有調節效果，但不同功能之間的效果強度明顯不同。苔蘚在「溫度穩定」與「空氣淨化」方面表現最好，不僅能有效抑制溫度上升，還能加速PM2.5回復至背景值，且整體效果明顯優於僅含濕潤基質的對照組。這代表苔蘚的調節能力並非單純來自「水分存在」，而是與其本身的結構、蒸散作用與表面特性有關。但是，降噪效果雖可觀察到分貝下降，但沒有很明顯的改善。整體而言，苔蘚確實具備多面向環境調節能力，但不是每項功能都有很好的發揮，而是以「溫控與空氣淨化」為主要優勢。

二、不同生活型態比較

再比較三種生活型態苔蘚後可發現，不同生活型態在不同功能上有明確分工，而不是單一類全面表現都最好。高草型苔蘚（尖葉曲尾苔）在溫控與空氣淨化方面表現最突出，代表其立體且蓬鬆的結構，有助於提升蒸散效率與增加與空氣接觸的表面積。短草型苔蘚（傘形曲柄苔）則在降噪方面相對較好，推測與緊密的孔隙結構有關，聲波進入後能有效被吸收。匍匐型苔蘚整體表現較為平均，但在各項指標上都沒有到最突出的表現。這樣的結果顯示，不同生活型態苔蘚在結構與功能上有明顯差異，所以我們應該依實際需求選擇適合的苔蘚來解決不同的環境問題。

三、行動方案結果

在實際半戶外環境中，苔蘚仍展現出一定程度的應用價值，但其效果形式與箱體實驗有點不同。在溫度方面，由於行動前後處於不同季節，無法直接比較溫度數字高低，但可觀察到苔蘚陽台使實際陽台溫度波動明顯較小，且減緩寒冷低溫，顯示苔蘚具有穩定周遭溫度的能力。在空氣品質方面，苔蘚的效果最為明顯，陽台 PM2.5 與官方數據之差距大幅縮小，顯示苔蘚在半開放環境中仍具備實際的攔截與淨化能力。在降噪方面，僅觀察到輕微下降，大都仍受外在環境影響較大，顯示苔蘚在真實環境中的降噪效果有限。綜合來看，苔蘚在實際環境中的主要價值，並非強烈改變單一指標，而是透過「穩定環境」與「長時間調節」，逐步改善生活空間品質。

此外，在實驗過程中也出現兩個原本沒有預期到的重要發現，這兩點讓我們更清楚看見苔蘚的特性並不只是「被動材料」，而是一種「具調節能力的生物系統」。

第一，在尚未啟動熱源之前，部分苔蘚箱就已經出現溫度下降的情形。這代表苔蘚並不是等到外界變熱才開始作用，而是本身就能透過蒸散、水分分布或改變周圍空氣流動，主動影響微氣候。

第二，在空氣淨化實驗中，無苔蘚的基質在一開始確實可以快速降低 PM2.5，但效果很快減弱，甚至出現幾乎停止下降的情況。相較之下，苔蘚的下降速度雖然沒有一開始那麼快，但卻能持續穩定地降低 PM2.5，最後反而更快回到背景值。這顯示兩者的本質差異：基質屬於「一次性的物理吸附」，效果會隨時間飽和；而苔蘚則因為具有表面結構、水膜與生物作用，能持續提供新的附著與調節能力，比較像是具「長效型調節能力」的「生物系統」。

柒、反思與建議

從發想、架構、找資料、實驗與分析後，共經歷了七個月之久，我也對整個過程進行反思，並想出未來想再延伸的方向。

一、反思

（一）資料蒐集的困難

一開始是因為對苔蘚的興趣而選擇主題，但在查詢資料後才發現，台灣關於苔蘚的研究很少，大部分資料都偏向介紹種類型態介紹、苔蘚區域分布而已，與我想研究的溫控、降噪及空氣淨化能力有直接研究的資料偏少。

這使我在解釋苔蘚對環境調節的理論機制時，只能透過整理不同資料後進行推測，而不是直接找到完全對應的研究支持。（國外的苔蘚研究很多，雖然可以用翻譯軟體仍很難理解）

（二）低估了活體實驗的難度

本研究使用的是活體苔蘚，由於之前並沒有養護過苔蘚的經驗，部分苔蘚因強硬移植初期對環境變化相當敏感，出現了變黃甚至枯死的情形，又重新換了一批。不確定苔蘚狀態的不一致，會不會影響了實驗結果的穩定性。（後來看似死掉的苔蘚再2、3個月後又活了起來。）

未來可以在正式實驗前應先預留更長一段時間，先讓移植後的苔蘚適應新環境新基質至少1、2個月，使每次實驗的條件更一致，提升實驗的可靠性。

（三）實驗容易受到外在環境影響

在研究過程中，部分實驗設計曾經進行調整，例如降噪實驗由密閉空間改為開放空間，以避免聲音反射造成誤差；以及行動方案則因時間限制，分別在不同季節進行比較。

這樣的調整雖然讓實驗更接近真實情境，但也增加了外在環境（如氣溫、背景噪音）對結果的影響，使得因果關係推論沒辦法那麼直接。

二、未來研究建議

（一）進行夏季環境測試

這次研究的行動方案主要在秋冬進行，尚未驗證苔蘚在台灣夏季高溫實際環境中的生長與調節能力。臺灣冬季的空氣污染嚴重，在此次行動方案中，已證明了苔蘚確實具有淨化空氣的能力。未來若能在夏季進行行動方案，測試苔蘚在夏季的「戶外」溫控能力，及何種苔蘚可以適應生存於臺灣的夏季，將能更能完整評估苔蘚在都市中的應用價值。

（二）發展苔蘚應用系統

我一開始的發想的目的就是希望苔蘚能成為都市計畫的一部分，目前的研究主要是將苔蘚進行實驗測試，在箱體實驗及半戶外實驗已證明苔蘚的功能。期望苔蘚能真正應用於都市環境，則需要進一步設計成系統，例如苔蘚牆、苔蘚屋頂或自動供水裝置，使其更接近實際應用。

希望「苔蘚」不單單只是一種植物，也有別於一般冷氣機、空氣濾淨機的機械設備，而是可以設計成一種「植物」與「科技」結合的微型環境調節的「生物系統」。

捌、參考資料

一、中文資料

- 1、Yu Feng。苔蘚學堂。<https://daintsuoh.medium.com>。
- 2、成允聖、陳財輝（2018）。都市林木對空氣污染物的淨化。林業研究專訊，25 卷 5 期。
https://ws.tfri.gov.tw/001/Upload/OldFile/files/專訊_145-1-9.pdf
- 3、徐子耘（2024）。台灣苔蘚微觀誌：從零開始的賞苔之旅，帶你一起走進迷你森林。麥浩斯出版社出版。
- 4、姚奎宇、楊嘉棟（2023）。太魯閣國家公園苔蘚、地衣圖鑑。內政部國家公園署太魯閣國家公園管理處出版。
- 5、城市綠材科技股份有限公司（2025）。吸音棉原理是甚麼？吸音與隔音的差異性。
<https://www.ctgreen.com.tw/modules/news/article.php?storyid=125>
- 6、陳慧菁（2014）。耐旱性苔蘚植物於薄層綠屋頂的隔熱性能。國立臺灣大學，生物環境系統工程學研究所。<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail/U0001-1002201519475300>
- 7、陳令錫（2013）。淺談作物生長環境之蒸發散。
https://www.tcdares.gov.tw/upload/tdais/files/web_structure/8187/TC0211619.pdf
- 8、葉德銘（2018）。都市農業：應用植物淨化室內空氣。
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=92e4969e-9c58-4787-a43c-bf8a8a2d6d31>
- 9、楊嘉棟。臺灣苔蘚植物多樣性初探。臺灣網路科教館。
<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6839&p=1&lid=19513>
- 10、劉美娟、王巧萍、張世杰（2006）。森林生態系中苔蘚植物的重要性。行政院農業委員會林務局。
https://teric.naer.edu.tw/wSite/ct?ctNode=638&mp=teric_b&xItem=1974911&resCtNode=454&OWASP_CSRFTOKEN=C2VD-DRMZ-AT3Q-39PI-X20Z-IOF4-8FDW-RKOK

二、英文資料

- 1、Sean R. Haughian （2024）。Mosses for minimalist green roofs: A preliminary study of the effects of ° rooftop exposure, species selection, and lab-grown vs. wild-harvested propagule sources ° Nature-Based Solutions , Volume 5 °
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772411524000107?utm_source=chatgpt.com

玖、附錄

附錄一：

溫控實驗（第一次）

實驗日期：2025 年 10 月 26 日

實驗時間：22:00 開始

室溫：25.7°C

濕度：93%

	時間	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
空箱 起始溫		25.7	25.7	25.7	25.7
加熱 階段	0	25.5	25.7	25.7	25.7
	1	25.4	25.7	25.7	25.7
	2	25.4	25.7	25.7	25.7
	3	25.5	25.7	25.7	25.8
	4	25.5	25.7	25.7	25.8
	5	25.5	25.7	25.8	25.8
	6	25.6	25.8	25.8	25.9
	7	25.6	25.8	25.8	25.9
	8	25.7	25.8	25.8	26.0
	9	25.8	25.8	25.8	26.0
	10	25.8	25.9	25.8	26.0
冷卻 階段	1	25.8	25.9	25.8	26.1
	2	25.8	25.9	25.8	26.1
	3	25.8	25.9	25.9	26.1
	4	25.8	25.9	25.9	26.1
	5	25.8	26	25.9	26.1
	6	25.8	26	25.9	26.2
	7	25.9	26	26	26.2
	8	25.9	26	26	26.2
	9	25.9	26	26	26.2
	10	25.9	26	26	26.2
	11	25.9	26.1	26	26.2
	12	26	26.1	26	26.2
	13	26	26.1	26	26.2
	14	26	26.1	26	26.2

	15	26	26.1	26	26.2
	16	26	26.1	26	26.2
	17	26	26.1	26	26.2
	18	26	26.1	26	26.2
	19	26	26.1	26	26.2
	20	26	26.1	26	26.2
最低溫度		25.4	25.7	25.7	25.7
最高溫度		26.0	26.1	26.0	26.2

溫控實驗（第二次）

實驗日期：2025 年 11 月 9 日

實驗時間：23:30 開始

室溫：24.4°C

濕度：88%

	時間	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
空箱 起始溫度		24.9	24.9	24.9	24.9
加熱 階段	0	24.9	25.0	24.9	24.9
	1	24.9	25.0	24.9	24.9
	2	24.9	25.0	24.9	24.9
	3	24.9	25.0	24.9	25.0
	4	24.9	25.0	24.9	25.0
	5	24.9	25.1	24.9	25.1
	6	24.9	25.1	24.9	25.1
	7	25.0	25.1	24.9	25.2
	8	25.0	25.1	25.0	25.2
	9	25.0	25.1	25.0	25.2
	10	25.0	25.2	25.0	25.3
冷卻 階段	1	25.0	25.2	25.1	25.3
	2	25.0	25.2	25.1	25.3
	3	25.0	25.2	25.1	25.3
	4	25.0	25.2	25.1	25.3
	5	25.1	25.2	25.2	25.4
	6	25.1	25.2	25.2	25.4
	7	25.1	25.2	25.2	25.4

	8	25.1	25.2	25.2	25.4
	9	25.1	25.2	25.2	25.4
	10	25.0	25.2	25.2	25.4
	11	25.0	25.2	25.2	25.5
	12	25.0	25.2	25.2	25.5
	13	25.0	25.2	25.2	25.5
	14	25.0	25.2	25.2	25.5
	15	25.0	25.2	25.2	25.5
	16	25.0	25.2	25.2	25.5
	17	25.0	25.2	25.2	25.5
	18	25.0	25.2	25.2	25.5
	19	25.0	25.2	25.2	25.5
	20	25.0	25.2	25.2	25.5
最低溫度		24.9	25.0	24.9	24.9
最高溫度		25.1	25.2	25.2	25.5

溫控實驗（第三次）

實驗日期：2025 年 11 月 18 日

實驗時間：21:30 開始

室溫：23.6°C

濕度：69%

	時間	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
空箱 起始溫度		23.6	23.6	23.6	23.6
加熱階段	0	23.6	23.6	23.5	23.6
	1	23.6	23.6	23.5	23.7
	2	23.5	23.6	23.5	23.7
	3	23.5	23.6	23.5	23.8
	4	23.5	23.6	23.5	23.8
	5	23.5	23.6	23.5	23.8
	6	23.5	23.6	23.5	23.9
	7	23.5	23.7	23.5	23.9
	8	23.6	23.7	23.6	24.0
	9	23.6	23.7	23.6	23.9
	10	23.6	23.7	23.6	24.0

冷卻階段	1	23.6	23.7	23.6	24.0
	2	23.6	23.7	23.6	24.1
	3	23.6	23.7	23.6	24.1
	4	23.6	23.8	23.6	24.1
	5	23.6	23.8	23.6	24.1
	6	23.6	23.8	23.6	24.1
	7	23.6	23.8	23.6	24.1
	8	23.6	23.8	23.6	24.1
	9	23.6	23.8	23.7	24.1
	10	23.6	23.8	23.7	24.1
	11	23.6	23.8	23.7	24.1
	12	23.6	23.8	23.7	24.1
	13	23.6	23.8	23.6	24.1
	14	23.6	23.8	23.6	24.1
	15	23.6	23.8	23.6	24.1
	16	23.6	23.8	23.7	24.1
	17	23.6	23.8	23.7	24.1
	18	23.6	23.8	23.7	24.1
	19	23.6	23.8	23.7	24.1
	20	23.6	23.8	23.7	24.1
最低溫度		23.5	23.6	23.5	23.6
最高溫度		23.6	23.8	23.7	24.1

附錄二：

降噪實驗（第一次）

實驗日期：2025 年 10 月 12 日

實驗時間：20:00 開始

室溫：27 濕度：77

背景值分貝：35

播放 90dB 的粉紅噪音 60s

	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
dB	53	52	53	54

降噪實驗（第二次）

實驗日期：2025 年 11 月 10 日

實驗時間：10:00 開始

室溫：25 濕度：73

背景值分貝：

播放 90dB 的粉紅噪音 60s

	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
dB	52	52	53	54

降噪實驗（第三次）

實驗日期：2025 年 11 月 18 日

實驗時間：21:00 開始

室溫：24.1 濕度：69

背景值分貝：

播放 90dB 的粉紅噪音 60s

	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
dB	52	52	52	53

附錄三：

淨化空氣實驗（第一次）

實驗日期：2025 年 10 月 13 日

實驗時間：22:30 開始

室溫：25

濕度：74

PM2.5 背景值：3

	時間	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
點 燃 線 香 2s 閉 蓋 開 始	0:00	3	3	3	3
	0:30	3	3	3	3
	1:00	6	3	3	3
	2:00	128	446	386	256
	3:00	500	500	500	468
	4:00	477	500	500	412
	5:00	348	500	442	346
	6:00	217	480	306	210
	7:00	182	391	286	165
	8:00	153	284	144	136
	9:00	82	184	142	108
	10:00	62	89	87	84
	11:00	50	67	81	74
	12:00	37	53	56	63
	13:00	26	39	46	59
	14:00	26	39	44	56
	15:00	19	34	43	48
	16:00	16	24	39	41
	17:00	14	16	36	38
	18:00	11	11	31	34
	19:00	6	8	26	28
	20:00	6	8	16	24
	21:00	3	8	8	21
	22:00		6	8	16
	23:00		3	6	14
	24:00			3	11
	25:00				14

	26:00				9
	27:00				6
	28:00				3

淨化空氣實驗（第二次）

實驗日期：2025 年 11 月 9 日

實驗時間：21:00 開始

室溫：26

濕度：88

PM2.5 背景值：16

	時間	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
點 燃 線 香 2s 閉 蓋 開 始	0:00	16	16	16	16
	0:30	16	16	16	16
	1:00	16	16	16	16
	2:00	100	202	262	212
	3:00	464	500	500	467
	4:00	500	500	487	500
	5:00	500	500	397	441
	6:00	477	500	328	397
	7:00	375	433	280	307
	8:00	242	306	180	267
	9:00	208	237	137	242
	10:00	124	171	79	221
	11:00	75	124	68	207
	12:00	62	87	65	194
	13:00	48	65	58	185
	14:00	34	53	50	176
	15:00	34	51	43	142
	16:00	29	44	39	131
	17:00	24	39	32	108
	18:00	19	32	29	96
	19:00	16	26	26	81
	20:00		21	21	78
	21:00		21	16	65
	22:00		16		59

	23:00				51
	24:00				43
	25:00				41
	26:00				37
	27:00				29
	28:00				21
	29:00				19
	30:00				16

淨化空氣實驗（第三次）

實驗日期：2025 年 11 月 22 日

實驗時間：20:00 開始

室溫：24

濕度：81

PM2.5 背景值：14

	時間	尖葉曲尾苔箱	傘形曲柄苔箱	毛尖卷柏苔箱	無苔蘚箱 (有基質底座)
點 燃 線 香 2s 閉 蓋 開 始	0:00	8	8	11	14
	0:30	8	11	11	16
	1:00	8	11	11	34
	2:00	375	32	215	415
	3:00	500	155	500	500
	4:00	500	480	500	500
	5:00	500	500	500	491
	6:00	488	500	500	396
	7:00	432	440	500	268
	8:00	315	328	488	246
	9:00	246	286	464	215
	10:00	188	228	337	186
	11:00	142	180	284	171
	12:00	93	162	215	144
	13:00	81	128	171	126
	14:00	63	77	128	110
	15:00	65	62	81	95
	16:00	52	56	67	87
	17:00	46	46	65	84

	18:00	36	39	60	86
	19:00	32	34	51	81
	20:00	26	29	41	74
	21:00	24	26	37	58
	22:00	19	24	34	50
	23:00	14	19	29	46
	24:00		14	21	43
	25:00		11	14	39
	26:00			11	34
	27:00				32
	28:00				29
	29:00				26
	30:00				24
	31:00				21
	32:00				19
	33:00				19
	34:00				16
	35:00				16
	36:00				16
	37:00				14

附錄四：

行動方案—陽台苔蘚微氣候站 行動前觀察紀錄表

實測地點：陽台地板正中央

官方數據：新北市三重區

日期	時間	實測 溫度	官方 溫度	實測 分貝	實測 PM2.5	官方 PM2.5
無苔蘚陽台						
10/10 (五)	07-08	33	30	56	6	6
	16-17	29	31	54	11	6
	21-22	28	28	53	19	15
10/11 (六)	07-08	31	30	55	11	7
	16-17	29	31	52	32	14
	21-22	28	27	56	19	14
10/12 (日)	07-08					
	16-17					
	21-22	29	28	55	16	14
10/13 (一)	07-08	29	28	58	11	16
	16-17	29	33	59	36	20
	21-22	29	28	54	8	8
10/14 (二)	07-08	28	29	58	21	23
	16-17	29	32	60	21	11
	21-22	27	28	56	14	11
10/15 (三)	07-08	29	29	58	14	9
	16-17	29	30	61	16	8
	21-22					
10/16 (四)	07-08	26	29	58	14	12
	16-17	29	31	56	21	13
	21-22	28	28	55	26	13
10/17 (五)	07-08	23	28	59	6	7
	16-17					
	21-22	27	29	56	36	12
10/18 (六)	07-08	31	31	55	16	12
	16-17	28	31	63	11	7
	21-22					
10/19 (日)	07-08	26	25	56	6	8
	16-17					

	21-22					
10/20 (一)	07-08	23	25	57	6	4
	16-17	26	25	58	19	10
	21-22	27	23	55	8	9
10/21 (二)	07-08	27	23	55	29	9
	16-17	26	23	57	19	7
	21-22	26	22	55	14	7
10/22 (三)	07-08	23	24	58	16	7
	16-17	26	23	57	19	10
	21-22					
10/23 (四)	07-08	22	24	61	21	11
	16-17					
	21-22	22	24		21	11
10/24 (五)	07-08	26	24	56	24	13
	16-17	25	24	57	36	12
	21-22					
10/26 (日)	07-08					
	16-17					
	21-22	25	22	53	37	14
10/27 (一)	07-08	24	22	65	14	8
	16-17	24	22	56	32	18
	21-22					
10/28 (二)	07-08	25	22	58	34	12
	16-17					
	21-22	23	20	50	11	11
10/29 (三)	07-08	24	22	57	21	11
	16-17	25	23	57	26	11
	21-22	25	23	55	26	12
10/30 (四)	07-08	25	25	56	21	12
	16-17	26	28	58	32	10
	21-22					
10/31 (五)	07-08					
	16-17	25	24	57	43	9
	21-22					
11/1 (六)	07-08	26	24	57	16	11
	16-17	25	23	60	36	17
	21-22	25	22	54	36	18

11/2 (日)	07-08	24	21	55	34	21
	16-17	24	21	55	96	29
	21-22	25	21	51	70	38
11/3 (一)	07-08	23	20	58	84	30
	16-17	23	21	60	32	11
	21-22	23	19	55	16	7
11/4 (二)	07-08	23	21	58	11	8
	16-17	27	23	58	16	6
	21-22	24	21	54	24	8
11/5 (三)	07-08					
	16-17	24	24	59	11	10
	21-22	25	23	62	14	10
11/6 (四)	07-08	24	24	57	26	7
	16-17	25	26	60	14	10
	21-22					
11/7 (五)	07-08	25	26	56	19	7
有苔藓陽台						
12/1 (一)	07-08	21	21	55	37	31
	16-17	24	23	55	8	15
	21-22	23	22	53	6	6
12/2 (二)	07-08	22	22	56	8	10
	16-17	24	24	55	11	15
	21-22	22	21	51	19	13
12/3 (三)	07-08	24	20	55	14	19
	16-17	21	18	55	26	21
	21-22	19	17	56	32	19
12/4 (四)						
	16-17	21	19	55	14	16
	21-22	21	18	53	11	6
12/5 (五)	07-08	20	19	58	11	11
	16-17	21	19	57	11	9
	21-22	21	17	50	14	13
12/6 (六)						
	16-17	21	21	59	11	12

12/7 (日)	07-08	23	21	53	3	15
12/8 (一)	07-08	21	19	55	11	8
	16-17	23	21	55	11	10
12/9 (二)						
	16-17	22	20	56	6	13
12/10 (三)						
	16-17	24	22	54	19	12
12/11 (四)	07-08	23	19	55	3	8
12/14 (日)	07-08	19	16	50	19	15
	21-22	20	14	47	32	20
12/15 (一)	07-08	20	14	57	19	17
	16-17	20	19	58	21	7
	21-22	22	17	49	11	13
12/16 (二)						
	16-17	23	22	56	16	18
12/17 (三)	07-08	24	19	56	26	23
	16-17	22	22	53	14	7
12/19 (五)	07-08	25	20	59	34	13
	16-17	23	21	53	26	18
	21-22	23	20	49	24	21
12/20 (六)	07-08	25	20	51	26	14
	16-17	25	22	53	21	13
12/21 (日)	07-08	23	21	50	70	37

12/23 (二)						
	16-17	24	24	54	11	8
12/25 (四)	07-08	22	19	54	6	4
12/29 (一)	16-17		21	53	1	9
1/25 (日)	07-08	24	18	52	14	9
	16-17	21	22	57	11	4
	21-22	23	20	51	6	11
1/26 (一)	07-08	23	19	56	29	25
	16-17					
	21-22	21	19	54	79	33
2/1 (日)	07-08					
	16-17					
	21-22	24	15	51	3	9
2/3 (二)	07-08	20	15	58	41	29
	16-17	18	18	60	34	23
	21-22	22	17	58	16	12
2/4 (三)	07-08	23	17	61	14	20
	16-17	23	21	58	26	19
	21-22	23	19	56	21	20
2/9 (一)	07-08	20	12	60	6	5
	16-17	20	15	59	8	3
	21-22	23	15	46	3	6
2/10 (二)	07-08	23	16	58	16	21
	16-17	21	22	58	1	10
	21-22	22	17	55	21	23
2/11 (三)	07-08	26	17	55	6	29
	16-17	22	17	59	24	19
	21-22	24	16	55	11	26
2/12 (四)	07-08	23	17	52	24	29
	16-17	22	20	59	6	19
	21-22	22	18		14	11
2/13 (五)	07-08					
	16-17	23	25	60	32	29
	21-22					