

苔蘚氣候站—調節都市微氣候之研究與應用



學生姓名：碧華國小 六年七班 洪顥尹

指導老師：張家綺 老師

單位：新北市立碧華國民小學

摘要

本研究從「科技與自然共生」的想法出發，想了解苔蘚這種渺小又遠古的植物，是否能幫助改善都市中常見的高溫、噪音與空氣污染問題。

研究選擇三種不同生活型態的苔蘚（高草型、短草型、匍匐型），透過控制條件的箱體實驗，比較它們在穩定溫度、降噪及降低 PM2.5 三個面向的表現。另外，也在家中陽台設置「苔蘚氣候站」，觀察苔蘚在真實環境中的效果。

研究結果發現，苔蘚在「穩定溫度」與「空氣淨化」方面具有明顯效果，其中以高草型苔蘚表現最好；降噪效果則較不明顯，但仍有一點改善。同時，本研究也額外發現到兩個重要現象：第一，有些苔蘚在尚未加熱時，就已經出現使周遭溫度下降的情形；第二，在空氣淨化實驗中，無苔蘚箱（僅基質）雖然一開始下降較快，但很快後續幾乎都停滯了，而苔蘚則能持續穩定降低 PM2.5 濃度，更快地回到背景值。

在行動方案之苔蘚氣候站中，雖然因量測時間跨越不同季節，不適合直接比較溫度數字高低，但可以發現設置苔蘚後，溫度變化也較為穩定，且 PM2.5 數值與外部環境的差距明顯縮小，在淨化空氣上滿有成效的。

透過本研究可以發現，苔蘚不只是一永續的材料而已，而更像一種能持續影響環境的小型調節系統。未來若能找出適合的苔蘚種類，並進一步結合設計與應用，例如發展成苔蘚牆或建築的一部分，或許有機會成為一種新的永續性的環境改善方式。

壹、研究動機及目的

2025 年的暑假，爸爸媽媽帶我去日本大阪參觀萬國博覽會，我被「科技與自然共生」這個主題吸引。發現各國的實力展現，除了強調科技發展外，更以自然為門面吸引大家。其中有幾個展館更以植物為未來生命研究的主角，讓我有這樣的念頭「未來建築是不是能結合自然元素來改善都市生活呢？」。

而我從小走一條路都要走很久，因為我很喜歡停下來觀察研究路邊的植物，像是牽牛花、大花咸豐草、蕨類植物等，其中那從石縫中蹦出來的小小苔蘚也吸引了我。苔蘚是最早登上陸地的植物之一，也是現存最古老的陸生植物。雖然體型渺小，卻能在石縫、牆角等惡劣環境中頑強生長，展現出強大的適應力與生命力；所以我想以苔蘚作為我研究的主角，看能不能改善都市的夏季高溫、噪音與空氣污染問題，這個各國都越來越嚴重的問題。

貳、研究問題

- 一、探討苔蘚與其他植物作為植物牆的差異，是否具有更適合應用於都市建築的條件。
- 二、比較三種不同生活型態苔蘚在群體結構上的差異，並探討群體結構差異是否會影響其在溫度穩定、降噪與淨化空氣等實驗表現。
- 三、實驗苔蘚是否具有溫控、降噪與淨化空氣的效果，分析三種不同生活型態苔蘚在其效果上的差異原因，並與一般環境調節的物理原理加以對照與驗證。
- 四、建置苔蘚微型氣候站之行動方案—評估其在非實驗室環境下對溫度穩定（適逢秋冬季）、降噪、與空氣品質之改善成效。

參、研究設備及器材

一、研究設備及器材

(一) 建造苔蘚箱及顯微結構觀察：

我要將三種苔蘚移植到實驗箱裡活著君（基質）上，苔蘚店的老闆表示，剛移植後的苔蘚會面臨新的環境壓力，較為脆弱，可能會有一些小狀況；前期在溫度、濕度、光照、通風等都須格外用心、每天細心觀察，先讓苔蘚適應新環境一陣子，確保苔蘚穩定健康後才能著手進行實驗。

		
透明壓克力箱 自己組裝完成四個透明壓克力箱，側邊開門，方便養護苔蘚及實驗操作。 (長 37cm、寬 26cm、高 27cm)	活著君（基質） 是種植物纖維、泥炭與高吸水性材料。具有高持水性、疏水排氣性及穩定物化性質。可提供苔蘚固定與保濕環境	塑膠網格 因擔心在壓克力箱的苔蘚易悶熱而受損，故在基質下放一層塑膠網格，增加透氣性。
		
鑷子 苔蘚非常小，用鑷子夾取及鋪設苔蘚，並於養護苔蘚箱過程中，隨時將雜草去除。	噴瓶 以細霧模式均勻噴灑，避免直接倒水造成大量積水或爛掉。	UHandy 行動顯微鏡 用來觀察苔蘚的細胞結構，可直接搭配手機拍攝顯微影像。實驗中以 400× 放大倍率觀察。

(二) 溫控、降噪、淨化空氣實驗



陶瓷恆溫 (60° C) 加熱片

用來降溫實驗的標準熱源，提供穩定且可控制的加熱條件。加熱片表面溫度維持在 60° C。實驗時懸掛在苔蘚箱上方中央，確認四箱受熱條件一致。



溫度感測器

用於即時記錄苔蘚箱內溫度變化。感測器固定於箱底內側中間、與苔蘚層表面同一水平面，以確保測得的溫度能真實測出苔蘚對溫度的效果。



藍芽喇叭

作為降噪實驗的固定聲源設備，用來播放粉紅噪音，音量統一為 90 dB。喇叭置於苔蘚層上方固定處，聲音出口對正下方苔蘚層。



聲級器 APP

用來量測苔蘚牆前後聲音強度差的行動裝置應用程式。安裝於手機上，可即時顯示並記錄分貝數據 (dB)。



木製吊衣架

作為懸掛與固定設備，用於支撐藍牙喇叭，使其在每次實驗中保持相同高度與角度。



線香

作為空氣淨化實驗的標準微粒污染源 (PM2.5)，是都市常見污染源。每次實驗以相同品牌與長度的線香操作。



溫度濕度 pm2.5 感測器

用於監測實驗箱內的空氣品質變化。安裝位置位於箱體內側柱邊，以確保感測結果能代表苔蘚層上方的實際空氣狀態。

(三) 行動方案：苔蘚氣候站

為了將實驗結果應用於真實生活環境中，我在自家陽台規劃建置一座「苔蘚氣候站」，觀察苔蘚在非實驗室條件下的穩定性與環境調節效果。



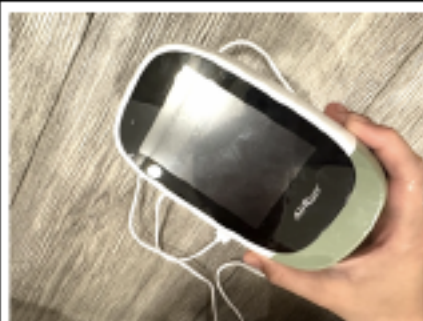
吸水棉線與蓄水桶

確保苔蘚能長期維持穩定含水量，於基質周邊縫製吸水棉線，連接至一旁的蓄水桶。棉線可利用毛細作用自動吸水，使苔蘚即使在炎熱乾燥天氣中仍能獲得持續水分補給，減輕照顧的心力。



溫度感測器

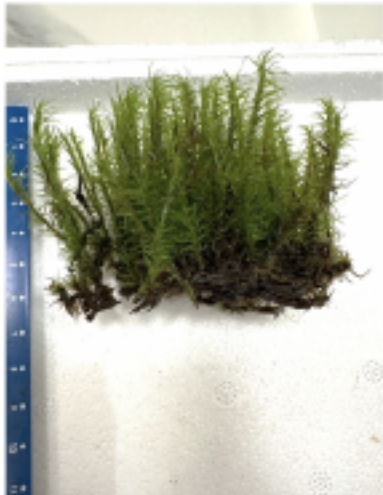
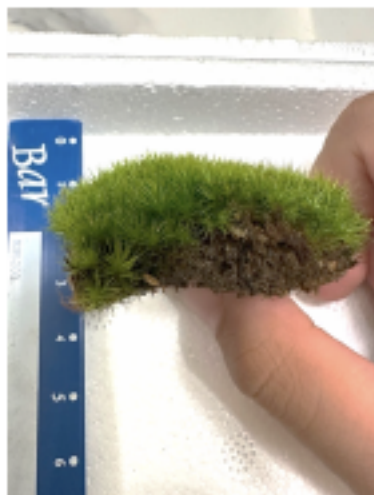
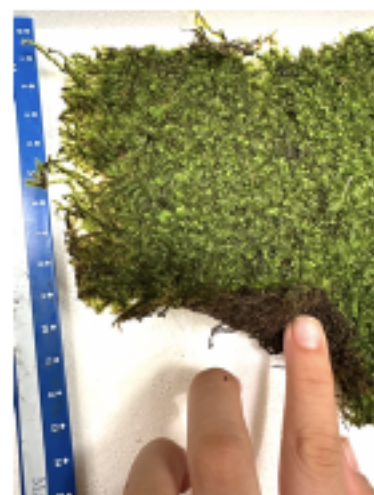
此溫度感測器可顯示出溫度的十分位 (小數點後一位)，以利觀察並紀錄苔蘚對於半戶外空間的細部溫度變化。

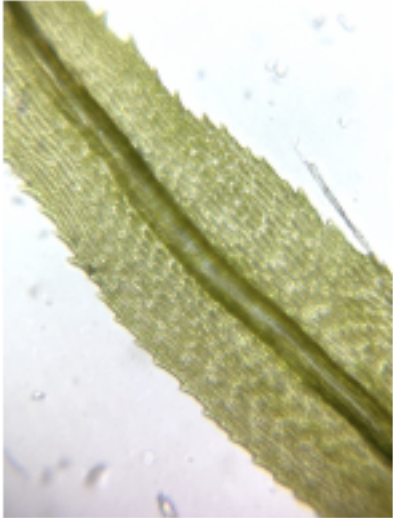
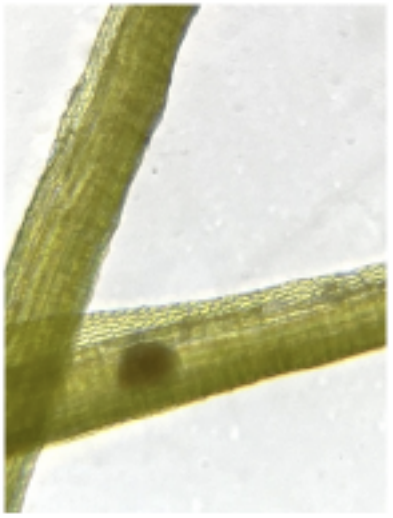


溫度濕度 pm2.5 感測器

在氣候站中央設置一組多功能環境感測模組，用來即時監測周圍空氣的溫度、相對濕度及懸浮微粒 (PM2.5) 濃度。

二、實驗植物

	尖葉曲尾苔	傘形曲柄苔	毛尖卷柏苔
學名	<i>Dicranum scoparium</i>	<i>Campylopus umbellatus</i>	<i>Racopilum aristatum</i>
分類	界：植物界	界：植物界	界：植物界
	門：苔蘚植物門	門：苔蘚植物門	門：苔蘚植物門
	綱：苔綱	綱：苔綱	綱：苔綱
	目：曲尾苔目	目：曲尾苔目	目：卷柏苔目
	科：曲尾苔科	科：曲柄苔科	科：卷柏苔科
	屬：曲尾苔屬	屬：曲柄苔	屬：卷柏苔屬
	種：尖葉曲尾苔	種：傘形曲柄苔	種：毛尖卷柏苔
生活型態	高草型 植株直立生長，常聚集成密集的墊狀或叢狀群落。一般高約 2-5 公分，在適宜環境下可達 5-12 公分。	短草型 植株直立或斜升，形成茂密的小叢（草叢型苔蘚），高度約 1.5-4 公分。	匍匐型 植物體匍匐於基質表面，呈不規則分枝，整體扁平鋪展生長，常形成大面積、扁平的苔蘚墊。
			
葉形與大小	葉片細長披針形，長約 4-8 毫米。葉尖狹長，有時具短芒突起。乾燥時葉捲縮，濕潤時舒展並偏向一側。	葉片闊披針形，長約 2-3 毫米。頂端有透明芒尖，由無葉綠素細胞組成。濕時葉直立張開，乾時葉緊貼莖收縮。	側葉長橢圓形，背葉三角形或心形；皆具有細長芒尖。側葉葉緣平坦，尖端具一列細鋸齒；背葉較小但亦有鋸齒。乾燥時側葉常向上閉合捲曲以減少水分散失。

			
假根	莖表面密生褐色絲狀假根，有時在莖基部呈絨毛狀毯覆莖表。假根有助固定於土壤或腐木並吸收水分。	紅棕色假根毛豐富，分布於莖表面及葉中肋背面。假根在乾燥時也可協助吸濕。假根將植株固著於岩石或樹皮上，可耐受貧瘠基質。	莖腹面（貼基質一側）密生棕色假根毛。假根如絨毛緊貼基質，提供強力附著力，使匍匐莖攀附岩石、樹幹等表面擴張。
顯微結構	葉身細胞細長、狹窄，形狀呈線形到長矩形。細胞壁厚且平行排列，利於支撐與保水。近葉尖細胞逐漸變窄，呈「纖維狀尖端」。 中肋內部具厚壁細胞，提供機械支持。在中肋橫切面可見背腹面細胞排列緊密，常含有傳導組織的雛形。 	葉身細胞狹長、線形到長矩形，細胞壁厚。葉尖細胞逐漸延長並延伸為透明芒尖，芒尖細胞壁薄、透明，能反射強光、減少蒸散。 中肋非常寬大，幾乎佔據整片葉子的中部。中肋內含厚壁支持細胞，提供支持。 	葉身細胞形狀多為矩形至短矩形，排列緊密，長寬比不如前二者那麼狹長。細胞壁薄，顯得透明，利於快速吸收水分，但也容易脫水收縮。葉尖部的細胞逐漸縮小，延伸為「尖形葉端」。 

（上述內容參考相關資料整理而成；圖片及照片為本研究自行繪製、拍攝。）



(實際操作照片)

肆、研究過程及方法

一、研究架構

萌芽：「科技與自然共生」——走一趟2025大阪萬博後對未來建築的想像

初探：問題討論與文獻探討

為什麼選擇苔蘚？其較其他植物的優勢？

三種不同生活型態苔蘚的結構差異？選出各生活型態的代表苔蘚。

苔蘚在溫控、降噪、淨化空氣有顯著效果嗎？不同生活型態苔蘚會有差異嗎？

一般溫控、降噪、淨化空氣的物理原理為何？並以實驗結果做驗證。

實驗：實驗設計與驗證

建置四個實驗箱並每日定時拍照紀錄苔蘚生長狀況。

A 高草型-尖葉曲尾苔

B 短草型-傘形曲柄苔

C 匍匐型-毛尖卷柏苔

D 無苔蘚（僅有基質）

溫控實驗：以恆溫加熱片控制熱能，測試不同苔蘚箱的控溫表現。

降噪實驗：播放固定音源，量測苔蘚層後的聲音強度。

空氣淨化實驗：以綠香為污染源，測試苔蘚對PM2.5的吸收效果。

每組重複三次

行動：實際應用與成效評估

為期六週之苔蘚氣候站

建置自家陽台的苔蘚微型氣候站。

為期三週，每天紀錄在「無苔蘚」時，陽台的溫度、分貝、PM2.5與官方數據之關係。

為期三週，每天紀錄在「有苔蘚」時，陽台的溫度、分貝、PM2.5與官方數據之關係。

分析客觀數據證明苔蘚在開放空間是否有顯著效果。

從苔蘚牆的行動方案來驗證其調節都市微氣候的能力，使我們的城市更宜居

二、文獻探討—有三個問題想先瞭解

（一）為什麼選擇苔蘚？其在生長需求、環境適應力與維護成本上的優勢？

就文獻資料中指出苔蘚植物不同一般植物的特性，在都市綠化中展現出許多優勢。下面從生長需求、環境適應力和維護成本三方面說明苔蘚的優勢。

1、生長需求的特性與優勢：

苔蘚是隱花植物且無維管束構造，沒有真正的根，只靠假根附著並依賴表面從空氣中吸收水分和養分。因此苔蘚對土壤基質的要求極低，可以直接附著在岩石、樹皮甚至人造纖維基板上生長，無需深厚土壤層供給養分（徐子耘，2024）。

2、環境適應力的生理與結構特徵：

苔蘚作為地球上最古老的陸生植物之一，演化出了強大的環境適應能力。它們缺乏維管束，所以體型矮小，但也使它對周遭環境變化反應靈敏，能迅速調節狀態來應對逆境。許多苔蘚具有抗旱特性：在乾旱條件下，苔蘚體內水分大量散失時葉片會卷曲貼緊好減少蒸發。當水源缺乏時苔蘚能像海綿一樣將殘存水分儲存在細胞壁外部的多孔隙結構裡，進入假死休眠狀態來熬過乾燥期。一旦環境重新變濕潤，哪怕是一場小雨，都能使休眠的苔蘚迅速恢復，重新變得青綠。這種「脫水不死」的本領是許多高等植物所不具備的（徐子耘，2024）。

除了抗旱，部分苔蘚對高溫也有一定耐受力；雖然大多苔蘚偏好涼爽環境，但某些品種，如砂蘚 *Racomitrium* 屬苔蘚，能在陽光直射、屋頂高溫的環境中存活，其本身強韌的角質層和適應性讓它們可忍受較大的溫度日較差（陳慧菁，2015）。

3、維護成本上的優點：

利用苔蘚進行都市綠化還有低養護成本的優點。首先，苔蘚生長緩慢且高度低，不需要常常修剪。同時，苔蘚沒有深根系，不會侵入建築牆體或屋頂防水層，減輕結構上被破壞。且苔蘚重量輕，不需厚重土壤，因此對建築物的負荷影響小，施工和防水要求也較低。

此外，在水分需求方面，苔蘚需要保持一定的環境濕度才能旺盛生長，通常在苔蘚綠牆或苔蘚屋頂上會配置自動噴霧或滴灌系統，以維持苔蘚濕潤。但相對於草皮或開花植物，苔蘚並不需要大量澆水施肥（徐子耘，2024）。

（二）三種不同生活型態苔蘚在群體結構上的差異為何？

1、為什麼要以生活型態的分類來做實驗的對照？

苔蘚難以單株獨立存活。在文獻資料指出，苔蘚並非單株獨立生存，而是以群體方式的生態功能存活。而生活型態的形成整合了形態、生態條件與群聚方式，使苔蘚能在特定環境下生存（徐子耘，2024）。

2、三種生活型態的結構差異與演化優勢

苔蘚的生活型態有很多細部分類，我以差異最大且最常見的三種生活型來做研究：高草型、短草型、匍匐型（姚奎宇、楊嘉棟，2023）。

（1）高草型苔蘚

此型態的苔蘚具備較高的直立莖叢，可形成數公分至數十公分高的「草毯」。高草型苔蘚往往主導於陰濕環境，其演化優勢在於：高度的莖叢可以突破落葉層或矮小植被的遮蔽，最大化光合作用光捕獲。此外，高草型苔蘚密集的直立莖叢也有助於群體保水。

（2）短草型苔蘚

此型態苔蘚包含低矮的直立叢狀苔蘚，其高度僅幾毫米至數公分，可形成貼地的綠色小墊。短草型苔蘚在乾旱或貧瘠環境中表現出極強適應力，例如陽光曝曬的岩石表面、沙地或屋頂上。這類苔蘚藉由緊密的簇生結構減少群體內部水分蒸發，如同微型海綿般保持水份。其葉片常具捲曲或毛氈狀表面，乾燥時迅速捲縮鎖住殘餘水分，濕潤後再展開恢復光合作用。因此，許多短草型苔蘚演化出卓越的抗旱性和乾燥休眠能力（劉美娟等，2006）。

（3）匍匐型苔蘚

此型態苔蘚具有細長匍匐莖，沿地表或基質蔓延生長，形成平鋪狀的苔蘚毯或薄墊。它們常在森林地表、腐木或岩石陰面鋪展成大片苔蘚地毯。其適應優勢在於：平鋪生長可以高

效率覆蓋基質，攔截從空氣和兩水中的營養與水分，並為自己及下方土壤維持濕度，在穩定的高溫環境（如林下土壤、岩石陰面）具有競爭優勢。但匍匐型苔蘚因表層暴露面積大，在環境突然變乾時也較易迅速失去水份，故多生長於長期濕潤的地方，對乾燥或強光的忍受度較低。

生活型態	典型結構與高度	棲地偏好	演化適應優勢
高草型	直立叢生，較高 (可達數 cm 至十數 cm)	濕潤且略有光的森林底層、沼澤苔原等	爭取光照，減少被落葉覆蓋；群體內部導水保濕；孢子散播高度大
短草型	低矮簇生或坐墊狀， (數 mm 至數 cm)	曝曬乾燥的岩面、牆頂，貧瘠土壤，沙地等	緊密結構減少蒸散，極強抗旱能力；休眠恢復快
匍匐型	匍匐蔓延，扁平鋪展，可覆蓋大面積	陰涼潮濕處：森林腐木、土壤、岩石陰面	快速營養擴張覆蓋；高效攔水蓄水；維持微環境穩定

3、為什麼以尖葉曲尾苔、傘形曲柄苔、尖毛曲尾苔為三生活型態之代表？

在選擇高草型、短草型、匍匐型的實驗代表苔蘚時，我想了很久我做這個研究的最終目的是希望可以實際應用於都市，特別是在我們台灣；所以選擇在各生活型態中，擁有較高環境適應力特質的苔蘚。

（1）高草型—尖葉曲尾苔

根據國外的研究，尖葉曲尾苔較其他高草型苔蘚擁有極強的耐乾性和耐熱性，能夠承受極低水分環境；已知其可在多樣棲地中生長，耐受嚴酷生長條件。已有研究以曲尾苔屬苔蘚（含尖葉曲尾苔）進行綠屋頂或生態修復試驗，證實其生長穩定且有效果。且在逆境研究中經常被選用，是歐洲北美等地常見的實驗用苔蘚（Sean R. Haughian, 2024）。

（2）短草型—傘形曲柄苔

傘形曲柄苔具有極佳的耐熱能力，有資料指出在俄羅斯堪察加熱源地區發現可存活於淺土溫度達 30-50°C，顯示其能適應高溫環境；此種原生於東亞熱帶至溫帶，耐熱性強。而其短叢式生長，植株矮小緊湊，葉尖有透明芒尖，有助於保持葉面水分（芒尖常為耐旱適應結構）。且其可在岩石或泥土上附著生長，不僅展現其耐熱耐旱特別，亦對貧瘠環境有強適應力。

（3）匍匐型—毛尖卷柏苔

毛尖卷柏苔呈扁平匍匐生長，能快速覆蓋地表或岩面，容易形成地毯狀群落。在溫暖潮濕條件下表現穩定，在都市綠地也能存活，適應城市低海拔環境。此外，其栽培與取得容易，在台灣很常見，可在公園或路旁石壁採集。而相較於其它匍匐型苔蘚，其大面積包圍能力好，且葉片具尖細鋸齒，不易被微風掀起（徐子耘, 2024）。

（三）苔蘚在溫控、降噪與空氣淨化方面的作用機制及效果

為探討苔蘚於都市環境應用的潛力，本研究先了解一般對於溫控、降噪及空氣淨化的之理論機制，並整理出苔蘚可能符合這些機制的特質，最後再用實驗來應證效果如何。

1、溫控（熱控能力）

一般作用機制	苔蘚符合的特質
高含水性與緩慢蒸散冷卻	苔蘚可吸收或保持空氣中的水分，具有保水功能，在太陽輻射或高溫下，水分蒸散過程會吸熱，而使表面或附近空氣冷卻。這類似植被蒸散冷卻（evaporative cooling）的效應（陳令錫，2013）。
多孔結構與空氣層熱阻	苔蘚的組織通常具備許多微孔、間隙，以及纖維狀結構，這些結構可導致熱傳遞阻力，使其對熱流產生阻隔。

2、降噪（聲波吸收能力）

一般作用機制	苔蘚符合的特質
多孔吸聲機制	聲波進入多孔結構（如苔蘚體、纖維、氣孔等）後，聲波引起空氣振動，在孔隙中與壁面摩擦或粘滯逐漸耗散聲能，降低反射與穿透聲響。
厚度與共振效應	不同生活型（高草型、短草型、匍匐型）所形成的苔蘚層厚度不同，可能產生不同的共振吸收效果。

3、淨化空氣（懸浮微粒攔截能力）（成允聖、陳財輝，2018）

一般作用機制	苔蘚符合的特質
表面黏著與微水膜攔截	苔蘚表面具粗糙纖維、黏著性細胞壁及穩定水膜，可有效捕捉空氣中的懸浮微粒（尤其是 PM2.5）。微水膜可使微粒被「攔住」不被風吹走，累積效率極高。
物理吸附與化學吸附	苔蘚細胞壁含多種功能基團，對於某些氣體污染物（例如二氧化氮、硫氧化物、揮發性有機物），苔蘚細胞壁的功能基可能作用於化學吸附或轉化。且其多孔結構可增加接觸面積，提高吸附量。
生物過程與代謝累積	對於某些成分（特別是重金屬離子或可溶性氣體污染物），苔蘚可能透過生物吸收/累積作用進入其體內或被長期固定。

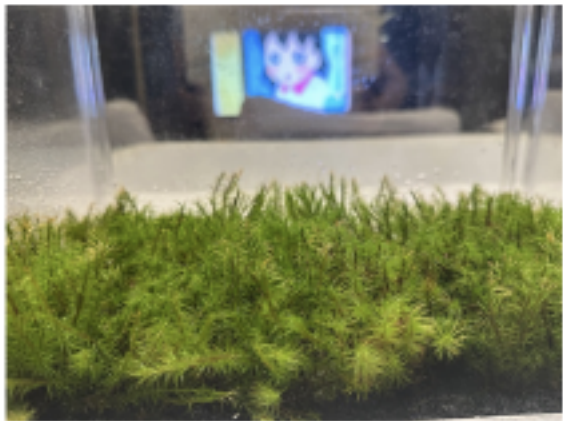
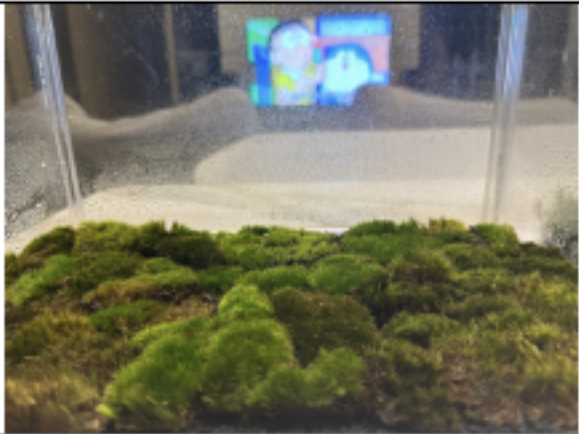
但這次淨化空氣實驗，我只針對第一項的懸浮微粒的吸收效果做測試。

綜合以上資料與理論可知，苔蘚的微結構與生理特性，可能使其在溫控、降噪及空氣淨化上皆展現出獨特的環境調節潛力。然而，查到的多數研究多針對單一功能或單一類型的苔蘚進行測試，較少對不同生活型態苔蘚在多項環境指標下的綜合比較。

三、研究設計與變因控制

在前一部分的文獻探討中，了解到苔蘚可能具有溫控、降噪與空氣淨化的潛在能力。為了驗證苔蘚是否具備這些理論的作用機制，本研究設計了一系列控制變因的箱體實驗，模擬都市微氣候環境，並用三種不同生活型態的苔蘚作為實驗主體。研究苔蘚在溫控、降噪與空氣淨化三項指標上是否具顯著調節效果？及三種生活型苔蘚的表現差異？

本研究使用四個尺寸相同之壓克力箱進行測試。為確保所有實驗條件一致，在三個有苔蘚的處理組中均鋪設相同配置：底層放置塑膠網格板，其上覆蓋等厚且等面積之基質「活著君」，再置入不同生活型之苔蘚植株，其配置如下：

編號	處理內容	類型	照片
A 箱	尖葉曲尾苔	高草型	
B 箱	傘型曲柄苔	短草型	
C 箱	毛尖卷柏苔	匍匐型	

D 箱	無苔蘚（僅基質）	對照組	
-----	----------	-----	--

本研究刻意在對照組D箱中保留與其他三箱完全一致的底層配置，相同塑膠網格板及相同厚度與面積的基質「活著君」，唯一缺少的僅為「苔蘚植株」，確保本研究的單一操縱變因只有「是否覆蓋苔蘚」。

（一）溫控實驗（熱控能力測試）

1、實驗目的

本實驗在探討三種不同苔蘚及無苔蘚箱體在相同熱源、相同自然濕度條件下的降溫效果，並比較四種箱體的溫度變化。

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	箱內隨時間之溫度變化值			
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（約 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）、熱源溫度（60° C）及加熱位置皆保持一致。			
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	溫度感測器固定於箱底後方、與苔蘚層表面

