

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080508

「杯」請「霧」入——仿生集水表面應用於台灣
山區霧氣捕捉研究

學校名稱： 新竹縣竹北市興隆國民小學

作者：	指導老師：
小四 李采萱	林芸
小四 江逸昇	沈怡如
小五 何忻宸	
小五 徐以恩	

關鍵詞： 仿生、台灣、捕霧

「杯」請「霧」入——

仿生集水表面應用於台灣山區霧氣捕捉研究

摘要

本研究探討仿生集水表面應用於台灣山區霧氣捕捉，並聚焦如何為需水性高的植物提升種植水源。近年來氣候變遷導致水氣減少，農作需仰賴額外技術補充水源。藉由模擬沙漠甲蟲圓弧凸起與蜂巢六角形凹槽仿生結構能顯著提升霧水蒐集效率；3D 列印不同表面結構的捕霧杯，於實驗室內模擬霧氣環境。進而走入台灣不同海拔地區，驗證各環境條件對捕霧效率的影響。研究發現，陽明山濕度 99% 風速 5.7 m/s 環境中，集水效果最佳（32.7g）；大雪山高海拔，但濕度低風速變化較大，捕霧量幾近為零，風速及海拔影響顯著；特別在高濕度環境下表現最佳。提出具潛力之補霧杯模型，應用於水資源不足地區，提高需水性植物水源供給，以維護生態多樣性環境。

壹、前言

一、研究動機

隨著氣候變遷影響加劇，乾淨的水資源越來越重要。臺灣雖然水資源豐富，近年來，氣候變遷導致臺灣山區霧氣出現頻率與濃度不穩，對依賴穩定水氣供應的需水性高的植物屢受影響。以茶樹為例，其生長過程中需長期穩定供水，以確保嫩枝與嫩葉的發育品質；傳統仰賴自然降雨與霧氣凝結的方式已逐漸無法滿足栽種需求。梨山、八卦山、名間鄉至鹿谷溪頭等名茶產區，雖具備水氣通道與地形抬升條件，形成聚集水氣條件，卻仍面臨區域性水源不足問題。因應氣候變遷帶來的挑戰，發展具備仿生概念的捕霧裝置，有望成為補充水資源的創新途徑。本研究試圖從自然界生物的集水結構中汲取靈感，設計補霧杯，並實際走進台灣不同地形環境測試捕霧杯於不同環境中的應用效果。

二、研究目的

（一）探討模仿納米布沙漠甲蟲圓弧凸起表面的大小水滴捕獲的差異。

- (二) 模擬蜂巢形狀設計，分析六角形凹槽結構如何提升霧水的蒐集與儲存能力，探討氣流引導與水滴分布的影響。
- (三) 模擬自然界中尖刺結構，探究不同粗細、間距設計對霧水凝結的影響。
- (四) 模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察霧水凝結表現。
- (五) 根據實驗得出的最佳霧水凝結結果，設計一款具實用性的捕霧杯模型，提升霧水蒐集效率。
- (六) 進入台灣山林以集水杯蒐集霧氣，觀察霧水凝結的表現。

三、文獻回顧

(一) 霧的種類及生成：

1. 上坡霧：風將溫暖濕潤飽含水氣的氣流吹向山坡，使其向上流動，因絕熱膨脹溫度降低，空氣中的水氣達到飽和而凝結成的霧。
2. 平流霧：當溫暖空氣經過寒冷的表面，如陸地時，就會凝結小水滴形成霧。
3. 蒸發霧：蒸發霧形成於當溫暖的水體（如湖泊或河流）遇到較冷的空氣時，水分迅速蒸發並冷卻，使水氣達到飽和並凝結成霧。這種霧通常在秋冬季節較常見，尤其在清晨或水面溫度高於周圍空氣時，如湖泊、河流或潮濕地區，形成漂浮於水面的薄霧，類似「蒸氣」的效果。
4. 輻射霧：太陽會發出熱能，地面會吸收那些熱能並放出來，可是地面吸收的熱能比放出去的還要多，晚上時已經沒有太陽，還有熱能一直持續釋放，周圍的水氣就會被那些熱能凝結成霧，形成輻射霧。這通常發生在夜晚或清晨，尤其是當天氣很冷且空氣濕度高的時候。輻射冷卻使地面變冷，然後讓空氣中的水蒸氣變成霧，這就是我們所說的輻射霧。當早上太陽出來或起風，輻射霧就慢慢消失了。

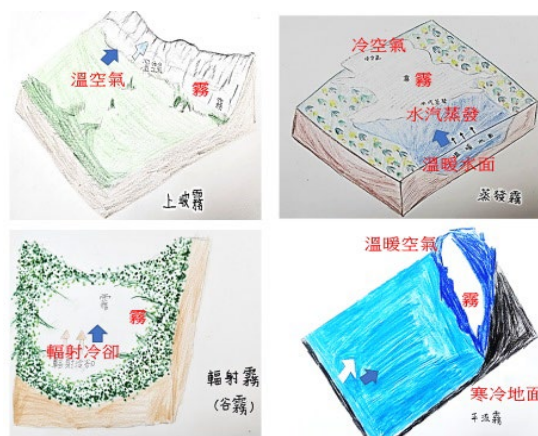


圖 1-3-1 霧氣成因圖

（圖片由作者及指導教師親自繪製及加入圖說）

（二）相關詞彙解釋

1. 相對濕度

是指空氣中水蒸氣的實際含量與該溫度下空氣能容納的最大水蒸氣量的比例，通常以百分比表示。當相對濕度達到 100%時，空氣達到飽和狀態，水蒸氣會開始凝結形成露水或雲霧。相對濕度隨著氣溫變化而波動，溫度上升時，空氣可容納更多水蒸氣，因此相對濕度會下降。

2. 輻射冷卻

輻射冷卻是指地面在沒有陽光的情況下，會將熱量輻射到太空中，導致地面溫度迅速下降。這通常發生在夜晚或清晨，當太陽不再照射地面時。地面冷卻後，近地層的空氣也會變冷，這使得空氣中的水蒸氣凝結，形成霧氣。尤其在山區，冷空氣會因地形聚集，霧氣容易形成在低處。輻射冷卻的作用使得霧氣更容易在清晨出現。

3. 冷空氣池效應

冷空氣池效應（Cold Air Pooling）冷空氣池效應是指在夜間或清晨，地面因輻射冷卻散失熱量，使得地面附近的空氣變冷。由於冷空氣比暖空氣重，它會向地勢較低的地方流動，積聚在山谷或低窪地區，形成冷空氣池。這樣的冷空氣積聚會使低地的氣溫比周圍的高地更低，並在某些情況下，因為冷空氣的積聚和濕氣的存在，會促使霧氣形成。

4. 逆溫層

逆溫層是當空氣在高處比低處更暖的現象，這會讓冷空氣無法上升，造成霧氣積聚。在山區，晚上地面冷卻，冷空氣滯留在低處，而上層的空氣較暖。這樣的空氣層不容易混合，使得霧氣容易在低處形成。逆溫層通常會在夜晚或清晨出現，特別是在山谷中。當冷空氣困在山谷中時，霧氣就會在那裡形成。

（三）臺灣山區霧氣特性

臺灣的山區地帶經常籠罩在雲霧中，特別是霧林帶（1,000~2,500 公尺海拔），例如雪霸國家公園、陽明山、大雪山等地，全年霧氣頻繁發生。相當適合捕霧的設置。台灣山區適合集霧的原因如下：

1. 氣溫與濕度：當空氣中水氣達到飽和，且遇到冷空氣時，水氣會凝結形成霧滴。台灣相對溼度高，日夜溫差大。
2. 地形影響：山區的逆溫層（夜間地表輻射冷卻）可造成冷空氣滯留，使霧氣更易於形成。
3. 季節變化明顯：如根據觀霧地區的氣象監測，霧發生頻率最高的月份為 4 月（49.2%）與 6 月（43.0%）。

（四）臺灣山區捕霧需求

台灣山區農業以茶葉栽培最具代表性，阿里山為名茶產區，因其具備濕潤氣候與山區雲霧籠罩的環境，有利於茶葉中茶多酚與胺基酸的累積，進而提升茶葉品質（黃倬英，2024）。黃倬英（2022）教授更在報導者的訪談中提到或許可以嘗試用捕霧網攔截霧水，在愈來愈延長的乾季中，幫助茶農對抗氣候變遷。對相對已開發或是部份開發中國家，縱使大部份民眾的用水是屬國家基礎建設所提供而無欠缺問題；但總是會有一些中高海拔或特殊地形因素會面臨缺水或是供水不穩定的情況發生，此時，霧水的攔截與運用應是可考量作為一種補助性飲用水源的方案；尤其對農作物的耕作區，倘若再結合滴灌技術，當可擴大霧水攔截的功效。為解決此一問題，部分學者開始關注

「捕霧技術」於農業補水之應用，如我們從中國土木水利工程學會的苗栗三義茶園攔截霧水實驗研究，發現苗栗三義的茶園已經利用大型捕霧網的設備來增加農業用水的新來源。



圖 1-3-2 單面型四面捕霧網



圖 1-3-3 十字捕霧網型四面捕霧網

（圖片來源：林敏朝、林博雄（2016）。從霧氣中取水的實驗與探討－以苗栗三義茶園攔截霧水實驗為例。《土木水利》，43(2)，p.71）

我們透過資料發現網面設計之所以成為主流，因為它具備高透氣性、增大捕霧面積、減少風阻與材料成本低等優點，能夠在大多數環境下高效捕捉霧氣中的水滴。板狀設計上，水滴凝結後需要有特定的排水通道，否則水滴容易積聚，影響後續水滴的凝結和捕捉效果。故我們認為，如果風速較低、霧氣較濃，板狀設計在特定情況下也有其價值。

此外，自然界中有許多生物具備高效的集水能力，本研究參考以下生物的集水機制：

1. 納米布沙漠甲蟲

其翅鞘表面具有親疏水微結構，能有效凝結水滴，並透過重力導引水滴流向口部。本研究藉由 3D 列印技術，模擬甲蟲的圓弧凸起結構，測試不同圓凸對水滴凝結影響。



圖 1-3-4 納米布沙漠甲蟲

（圖片來源：賴婉婷、歐陽盛菊、歐陽盛芝（2017 年 1 月 9 日）。〈『臺博新知』：可從空氣中高效集水的新仿生表面。〉國立臺灣博物館網誌）

2. 蜜蜂蜂巢結構

蜂巢的六角形設計能夠最大化儲存空間，並減少材料使用量。本研究將六角形凹槽設計應用於捕霧杯內壁，評估不同深度對霧水蒐集與排水能力的影響。



圖 1-3-5 黃腳虎頭蜂蜂巢

（圖片來源：文/陳信鈞、圖/楊惠娟（2014 年 7 月 9 日）





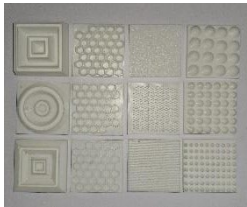
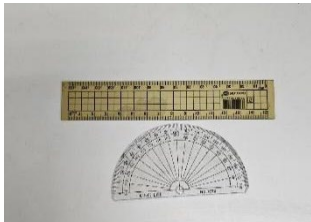
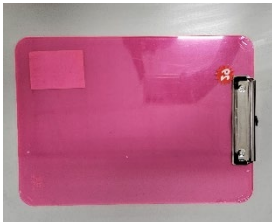

黃跗虎頭蜂。取自國立臺灣博物館臉書）

3. 仙人掌的尖刺結構

仙人掌表面擁有細長的針狀結構，能夠引導水滴沿著針尖方向移動，使水滴順利匯聚至根部。本研究利用 3D 列印製作不同間距與粗細的尖刺結構表面，分析其對霧水凝結效率的影響。

綜合來看，臺灣山區農業正逐步面臨水資源調配困境，捕霧技術若能整合地形、氣候與結構材料，將有潛力成為高山需水性植物因應極端氣候與提升灌溉效率的重要關鍵。

貳、研究設備及器材

			
水霧器	45×33×33cm 透明箱	溫溼度感測器	環形補光燈
			
自製 3D 列印板	直尺、量角器	板夾	手機


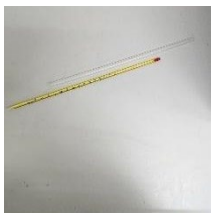







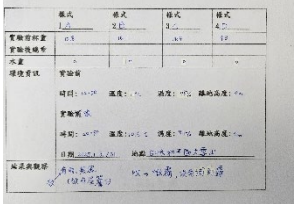


			
電腦	酒精溫度計	冰塊盒	鐵盤
			
培養皿	電子秤	盤子	試管架
			
滴管	紙	筆	橡皮擦

表 2 研究設備與器材（圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切）

參、研究過程或方法

一、研究架構

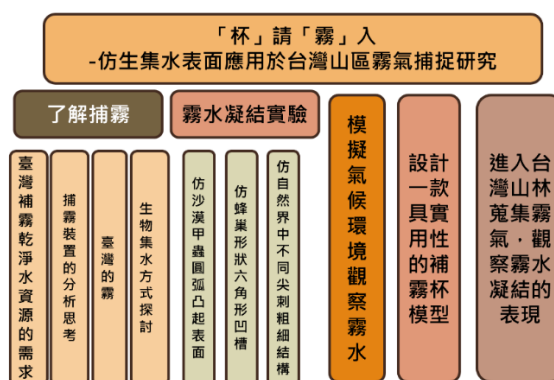


圖 3-1-1 研究架構圖（本圖由作者及指導教師親自繪製）

二、實驗設計

（一）實驗一：模仿納米布沙漠甲蟲背部凸起結構-親疏水的密度，觀察對霧氣凝結的影響

1. 實驗說明：我們查到納米布沙漠甲蟲的翅鞘上有不規則的凸起，這種親疏

水的表面是牠集水的關鍵，所以我們以不同的凸起效果進行設計。

2. 器材準備及設定：

- (1) 使用 TINKERCAD 軟體繪製 3D 列印圖，列印 3 種表面具有不同密度疏水性和親水性區域的 3D 列印板。
- (2) 訂定規格：底部同樣都是邊長 6×6 公分、高 0.5 公分的正方形底板。上面我們擺放不同直徑同樣高 0.5 公分的圓弧狀凸起，圓的直徑分別是 0.4 公分（小圓）、0.8 公分（中圓）和 1.3 公分（大圓）。
- (3) 設定平坦表面的對照組，以及凸起高度圓的直徑分別是 0.4 公分（小圓）、0.8 公分（中圓）和 1.3 公分（大圓）的實驗組。

3. 實驗操作：

- (1) 平放 3D 列印板在同樣大小培養皿中測量重量，再放置透明箱。
- (2) 打開加濕器，模擬霧水（室溫攝氏 26.9 度，無風，濕度 99%），半小時拍一次照。

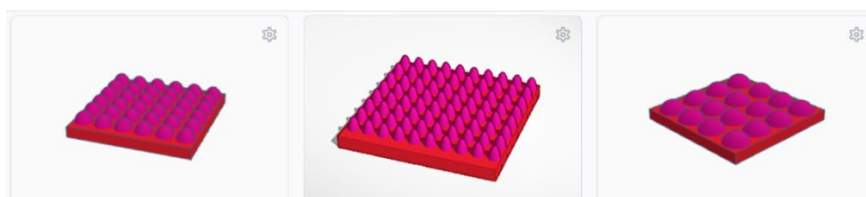


圖 3-2-1 捕霧杯 3D 設計列印圖（圖片由作者及指導教師親自繪製裁切）

- (3) 讀取實驗數據及處理：在固定輸入水霧兩小時後，測量重量（蒐集水量克數=測量重量－實驗前測量的重量），測量每個 3D 列印板蒐集的水量，並比較不同表面結構的水量的差異。

（二）實驗二：模仿蜜蜂蜂巢結構-六角形儲存凹槽，觀察霧水凝結的表現

1. 實驗說明：蜜蜂的蜂巢六角形設計是大自然中能夠節省材料，又兼具儲存的結構，所以我們以不同邊長大小、不同凹槽深度進行設計跟觀察。
2. 器材準備及設定：

使用 TINKERCAD 軟體繪製 3D 列印圖，列印 3 種表面具有不同深度 0.1CM、0.3CM、0.6CM 的蜂巢狀 3D 列印板，與一個表面沒有任何處理平

坦的對照組列印板。

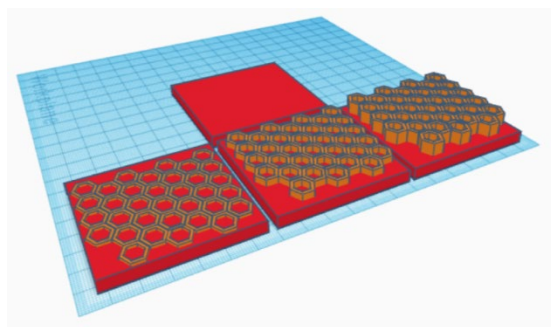


圖 3-2-2 蜂巢型 3D 列印設計圖（圖片由作者及指導教師親自繪製裁切）

3. 實驗操作：

- (1) 3D 列印板傾斜 60 度下方放置一個接水培養皿。
- (2) 打開加濕器，模擬霧水（室溫攝氏 27 度，濕度 91%）。
- (3) 讀取實驗數據及處理：在固定輸入水霧時間兩小時後，以電子秤測量每個 3D 列印板蒐集的水量。

（三）實驗三：模仿仙人掌的尖刺，觀察霧水凝結的表現

1. 實驗說明：仙人掌表面擁有細長的針狀結構，能夠引導水滴沿著針尖方向移動，使水滴順利匯聚至根部。本實驗模仿尖刺，觀察霧水凝結的表現。
2. 器材準備及設定：
 - (1) TINKERCAD 軟體繪製 3D 列印圖，列印 3 種不同深度不同間距與粗細的尖刺結構表面。
 - (2) 設定平坦表面類行為對照組，粗針形表面、細針形表面為實驗組。
3. 實驗操作：
 - (1) 3D 列印板下方放置一個接水培養皿。
 - (2) 打開加濕器，模擬霧水（室溫攝氏 27.9 度，無風，濕度 99%）。
 - (3) 讀取實驗數據及處理：在固定輸入水霧時間兩小時後，以電子秤測量每個 3D 列印板蒐集的水量。

（四）實驗四：模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察山區地形逆溫的霧水凝結表現

1. 實驗說明：經過實驗一到實驗三模擬生物的集水方式實驗，實驗四將模擬

環境，模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察山區地形逆溫的霧水凝結表現。

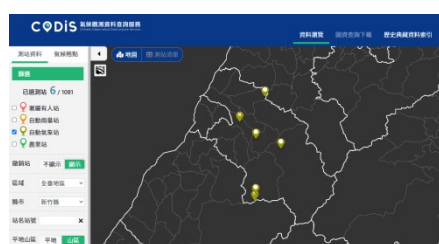
(1) 使用 CODiS 氣候觀測資料查詢新竹縣山區的自動氣象站：

分別是海拔 523m 的梅花測站、223m 的打鐵坑測站、227m 橫山測站、1956m 雪霸測站、229m 竹東測站（撤銷站）、2087m 觀霧測站（撤銷站）。

由於：

- 高海拔位置：雪霸測站位於海拔 1,956 公尺的高山地區。霧氣通常出現在較低的地形或高山環境的氣候條件下，高海拔地區的氣候更容易形成霧氣，並且可以觀察到霧氣的形成、變化及消散過程。
- 高濕度和低溫環境：高山地區，如雪霸山，通常擁有較高的濕度和較低的氣溫，霧氣多出現在濕度較高且溫差較大的地區，使得雪霸測站成為觀察霧氣的理想地點。
- 環境多樣性與霧氣觀察的長期性：雪霸測站位於新竹縣尖石鄉的自然保護區，有助於進行長期且科學的霧氣觀測。

所以選擇落在 1,000~2,500 公尺的霧林帶的雪霸觀測站。



觀測時間 (day)	測站名稱 (Name)	海拔高度 (m)	溫度 (°C)
01	雪霸	1956	14.9
02	雪霸	1956	17.7
03	雪霸	1956	18.5
04	雪霸	1956	15.2
05	雪霸	1956	15.3
06	雪霸	1956	14.6
07	雪霸	1956	13.9

圖 3-2-3 CODiS 搜尋新竹縣觀測站 圖 3-2-4 雪霸觀測站月報表

（圖 3-2-3 由作者及指導教師取自中央氣象署 CODiS 氣候觀測資料查詢服務，圖 3-2-4 作者及指導教師取自 CODiS 氣候觀測資料查詢服務 2024 年 4 月雪霸觀測站 COD550 月報表）

(2) 調閱 2024 年 CODiS 四月和六月氣候觀測資料。

根據 2010 年雪霸國家公園管理處委託辦理成果報告——觀霧地區雲霧環境之監測與模式建立研究所發現，觀霧地區霧最容易發生的月份分

別是 4 月（49.2%）、6 月（43.0%）。

觀測時間 (month)	氣溫 (°C)	最低氣溫 (°C)	最低氣溫時間(LST)	風速 (m/s)	相對溼 度(%)
四月	16.0	10.7	2024/04/07 06:52:00	0.5	73
六月	18.1	13.9	2024/06/04 12:41:00	0.4	86

表 3-2-1 CODiS 四月和六月氣候觀測資料（本表由作者及指導教師
整理取自中央氣象署 CODiS 氣候觀測資料查詢服務）

2. 器材準備及設定：以模擬觀測站的報表，設定實驗條件

- (1) 氣溫：在實驗室內使用空調控制氣溫至 16°C（四月）和 18°C（六月）。
- (2) 濕度：調整加濕器將環境濕度控制在 73%（四月）和 86%（六月），再使用濕度計即時監控。

由於氣象站設於室外，教室為室內，兩者環境有所差異，為了使測量結果更具代表性。以下使用一些方法：

- 在測量時關閉空調或暖氣，讓室內的濕度不受到人為控制的影響。這樣可以讓室內的濕度變得更自然，更接近外部環境。
- 通常早晨和傍晚的相對濕度比較穩定。選擇一天中濕度變化較小的時段測量，可以避免教室內濕度數據之間的劇烈波動。
- 氣象站的數據作為參考，定期校準室內濕度計，來達到更準確的測量結果。

- (3) 風速：選擇風速約 0.4~0.5 m/s 的天氣，模擬自然風條件。

我們使用風速計 APP，它會顯示所在地的風速，再使用 google 將 (km/h)換算(m/s)。我們原本想挑選風速 0.3~0.4m/s 之間的天氣進行實驗，我們另外在中央氣象局網站上查詢多筆資料後，選擇摘錄 12/4 之資料如圖，發現我們生活圈的風速大概 3 m/s、4 m/s。而橫山、梅花、雪霸等觀測站風速介於 0~1 m/s 之間。所以我們將實驗室的窗戶

關起來，模擬現場的情況。

縣市	測站	12/04 09:00		12/04 08:00		12/04 07:00		12/04 06:00		12/04 05:00		12/04 04:00		今日最大		前一日最大		前二日最大	
		風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速
新竹縣	打鐵坑	1	5	1	4	1	-	1	4	1	4	1	-	1	5	1	4	1	-
		0.9	8.1	1.0	6.9	0.7	-	0.7	7.2	0.7	7.0	0.6	-	1.0	8.1	0.8	7.5	0.4	-
新竹縣	溪—S088K	4	6	3	6	3	5	3	5	3	5	3	6	4	6	3	6	2	3
		5.5	13.0	5.3	13.0	4.8	12.4	5.0	10.6	4.3	10.6	4.4	12.0	5.5	13.0	5.2	12.9	2.9	5.4
新竹縣	橫坑新埔分場	3	6	4	6	3	6	3	6	4	6	4	6	4	6	4	6	2	3
		5.3	12.4	5.9	12.2	5.1	12.2	5.1	12.6	5.9	13.2	6.5	13.2	6.5	13.2	7.0	13.8	2.4	4.6
新竹縣	新竹	3	6	3	5	3	5	2	5	2	5	2	5	3	6	3	5	2	3
		4.1	12.5	4.0	9.2	3.4	9.2	3.1	9.2	2.7	9.7	3.1	9.7	4.1	12.5	3.9	9.6	2.0	4.7
新竹縣	關西	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	4	2	5	2	5	2	-
		2.4	10.4	2.4	9.7	1.6	8.4	2.3	9.3	1.9	8.1	2.0	7.5	2.4	10.4	3.1	10.4	1.8	-
新竹縣	溪三N077K	4	7	4	6	4	6	4	6	5	6	5	7	5	7	4	6	2	4
		7.8	15.0	7.5	13.1	7.7	13.1	7.4	13.4	8.3	13.4	8.5	14.1	8.5	15.0	7.0	12.1	2.7	5.7
新竹縣	溪三N085K	3	6	3	6	3	6	3	6	3	7	3	7	3	7	4	6	2	3
		5.0	12.6	5.3	13.3	5.4	13.5	4.9	12.8	4.0	16.3	4.5	16.3	5.4	16.3	6.8	13.0	2.1	5.0
新竹縣	竹東	2	5	1	4	1	4	2	4	2	4	1	4	2	5	2	5	1	-
		1.6	9.2	0.6	5.8	0.7	6.9	1.9	7.9	2.0	7.4	1.4	6.7	2.0	9.2	1.7	8.2	1.5	-
新竹縣	溪—S098K	4	6	3	5	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	4	6	2	3
		5.5	11.0	5.0	10.0	5.5	10.0	4.9	9.6	4.7	9.8	5.0	10.1	6.2	12.0	6.7	11.4	3.0	5.0
新竹縣	寶山	1	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	1	-	0	-	1	-
		0.3	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.3	-	0.4	-	0.5	-
新竹縣	溪—S105K	4	6	3	5	3	5	3	5	3	6	3	6	4	6	4	6	3	4
		6.3	11.4	4.8	9.9	4.4	9.1	4.4	8.1	4.5	11.1	5.4	11.1	6.3	11.4	5.5	10.8	3.7	6.2
新竹縣	橫山	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	0	-	1	-	1	-	1	-
		0.6	-	0.8	-	0.5	-	0.3	-	0.5	-	0.0	-	0.8	-	1.3	-	1.0	-
新竹縣	峨眉	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	1	-	0.5	-
		0.2	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.2	-	0.7	-	0.8	-
新竹縣	梅花	0	-	0	-	1	-	1	-	1	-	0	-	1	-	1	-	1	-
		0.0	-	0.0	-	0.4	-	0.4	-	0.3	-	0.0	-	0.4	-	0.7	-	0.7	-
新竹縣	橫坑五峰分場	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	3	2	3
		0.9	1.5	0.9	2.0	0.9	2.2	0.8	2.0	1.0	1.7	1.1	1.4	1.1	2.2	1.9	3.6	1.7	3.9
新竹縣	碧雲	0	-	0	-	1	-	0	-	0	-	0	-	1	-	1	-	0	-
		0.0	-	0.0	-	0.3	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.3	-	0.4	-	0.2	-

表 3-2-2 CODiS 不同測站風速參考圖（圖片由作者及指導教師擷取自 CODiS 中央氣象署氣候觀測資料查詢服務）



圖 3-2-5 在地風速 APP 數據結合 google 換算

（圖片由作者及指導教師親自從下載之 app 風速計-風天氣擷取）

3. 實驗操作：

當地表熱量在夜間快速散失（輻射冷卻），而山區周圍空氣因穩定而缺乏對流，冷空氣容易累積在谷底或低窪地區，形成逆溫層。山谷地帶冷空氣累積，高海拔地區溫度可能高於低海拔。根據雪霸地區的氣象報告，夜間的最高氣溫時間（如 4 月為清晨 06:52）。台灣山區地形崎嶇，常形成冷空氣池效應，冷空氣因重力沉降而聚集在低海拔地區，高處因較少冷空氣滯留而相對溫暖，這也是山區逆溫的常見模式。

(1) 實驗條件

- 微風和夜間輻射冷卻：並模擬日夜溫差（使用局部加熱和冷卻設備）。

- 山谷和高地的模擬：利用多層容器設置實驗環境，讓冷空氣沉降到容器底部

(2) 實驗設置：將實驗一、實驗二中平坦以及圓弧凸起、六角形的 3D 列印板放置其中



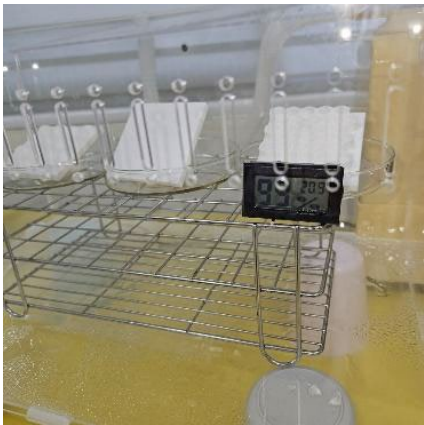



	
<p>溫差產生 -鐵盤放置熱水，冰塊盤放置冰塊</p>	<p>滴管吸掉冷卻水，加入保溫瓶熱水，酒精 溫度計維持 55~65°C</p>
	
<p>溫濕度測量 -實驗前在試管架放溫度濕度計</p>	<p>加強照明-補光燈打光</p>
	
<p>模擬低谷-冰塊盤高度與板子相同</p>	<p>模擬高地-冰塊低於板子</p>

圖 3-2-6 模擬高地低谷實驗設置（圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切）

(3) 讀取數據及處理

(五) 實驗五：設計與實驗捕霧杯模型

1. 實驗說明：從前述實驗最佳霧水凝結結果，設計一款具實用性的捕霧杯模型，提升霧水蒐集效率
2. 器材準備及設定：
 - (1) TINKERCAD 軟體繪製 3D 列印圖，列印 3 種不同深度不同形狀之結構
 - (2) 表面規格設計說明如下圖

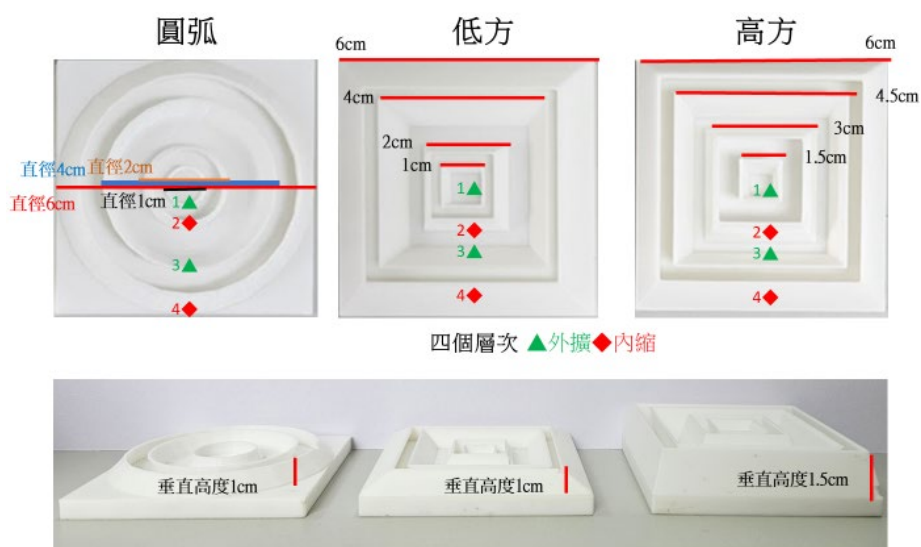






圖 3-2-7 捕霧杯規格說明（圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切）

3. 實驗操作：
 - (1) 測量重量並平放 3D 列印板在透明箱。
 - (2) 打開加濕器，模擬霧水（室溫 25 度，無風，濕度 99%）
 - (3) 讀取實驗數據及處理：在固定輸入水霧時間兩小時後，測量每個 3D 列印板蒐集的水量並比較不同表面結構水量的差異。

(六) 實驗六：進入台灣不同海拔地區，觀察捕霧杯霧水凝結表現

1. 實驗說明：依據實驗五將捕霧杯製作完成，進入台灣山林以集水杯蒐集霧氣，觀察捕霧杯霧水凝結的表現。
2. 器材準備：電子秤、自製捕霧杯、記錄表、筆與夾板、皮尺、橡皮擦、量角器、手機、溫溼度感測器

測試場地照片	GOOGLE 地圖定位點截圖	手機查詢定位經緯度
(圖片由作者及作者家長親自拍攝、GOOGLE 地圖地圖及手機經緯度擷取)		
環境場地照片		
		
五峰賓狗窩露營區場地照	五峰賓狗窩的遠景	
(圖片由作者及作者家長親自拍攝)		
		
五峰賓狗窩露營區場地照	卓蘭漁光中營區遠景	
(圖片由作者及作者家長親自拍攝)		
		
台南善化場地照	台南善化遠景	
(圖片由作者及作者家長親自拍攝)		

	
台中大雪山住宿區場地照	台中大雪山遠景
(圖片由作者及作者家長親自拍攝)	

圖 3-2-9 裝置設計圖文說明圖（圖片由作者及作者家長親自拍攝，指導教師裁切）

(2) 蒐集環境數據：以溫溼度感測器記錄實驗時段的氣溫、濕度及風速。

以手機拍攝霧水凝結與水滴流動的過程。記錄開始的日期，實驗時間、GOOGLE MAP 的定位點截圖。對應許多在野外露營的登山行程，在入睡前進行設置，清晨起來觀察。此時間也是登山客紮營休憩的時段，如果充分利用這個時間，他們便可以在前往下個目的地前，盡可能蒐集所需水分。

(3) 讀取數據及處理：針對霧水蒐集與測量，於實驗結束後，使用電子秤測量每個捕霧杯的總集水量。觀察不同杯子結構對霧水凝結與流動的影響。收回所有實驗器材放置實驗包，確保實驗地點無垃圾殘留。

肆、研究結果與討論

一、實驗一：模仿納米布沙漠甲蟲背部凸起結構—親疏水的密度，觀察對霧氣凝結的影響

(一) 實驗結果

1. 比較不同圓弧凸起表面的水量差異

組別	表面類型	直徑 (mm)	蒐集水量(g) (測量重量－實驗前測量的重量)			平均水量(g)
			實驗 1	實驗 2	實驗 3	
對照組	平坦表面	0	2.7	2.9	2.8	2.8
實驗組	圓弧凸起表面	4	2.6	2.8	2.9	2.77
實驗組	圓弧凸起表面	8	3.0	3.4	3.3	3.23
實驗組	圓弧凸起表面	13	3.3	3.6	3.7	3.67

表 4-1-1 不同圓弧凸起表面的水量差異實驗數據表（本表由作者及指導教師親自繪製）

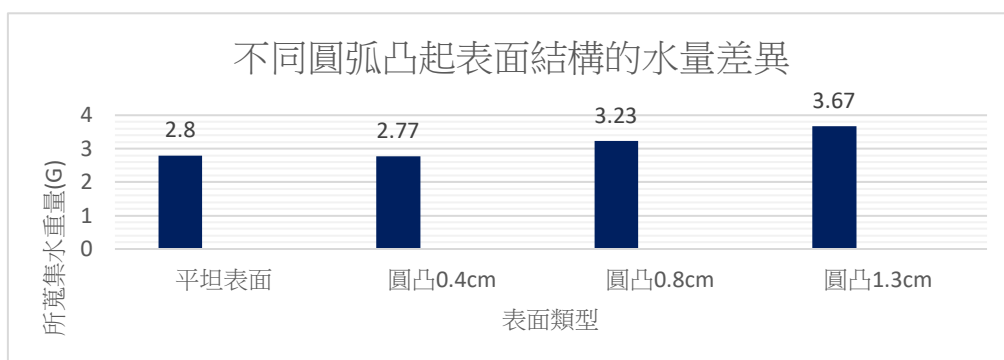


圖 4-1-1 不同圓弧凸起表面水量差異比較圖（本圖由作者及指導教師親自繪製）

2. 比較不同圓弧凸起表面不同時間的集水狀態

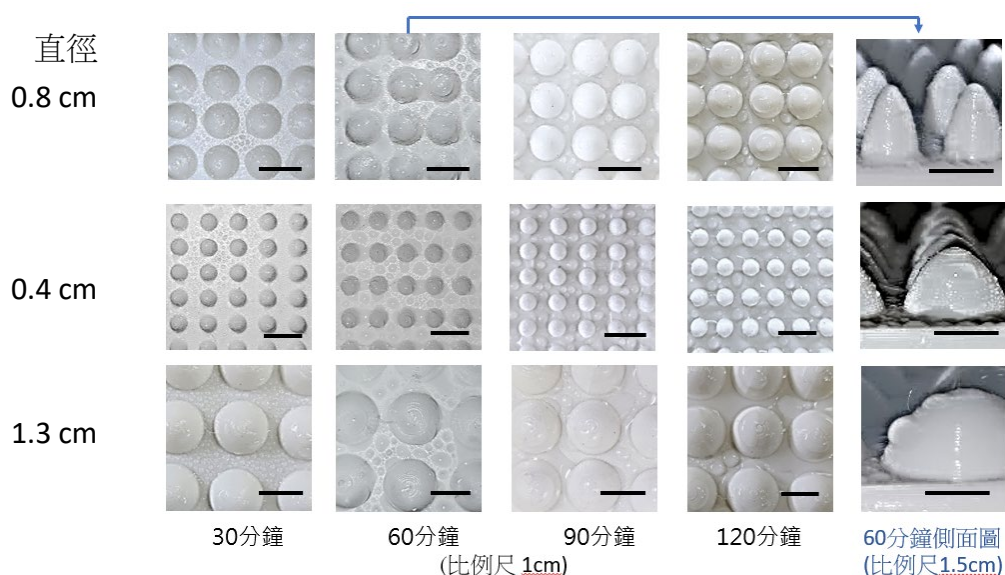


圖 4-1-2 不同圓弧凸起表面集水狀態（本圖由作者及指導教師親自繪製裁切）

（二）實驗討論

1. 進行表面積與凝結效果的分析。以每個板子上單一個圓來說，較大直徑圓弧狀（直徑 1.3 公分）提供了最大的表面積來捕捉霧氣。霧氣中的水分子有更多機會接觸表面並形成水滴。在相同的時間內，大直徑可以凝結粒徑半徑較大的水滴。
2. 進行曲面和水滴大小的分析，大直徑圓弧在水滴開始形成時，由於其曲面較平緩，容易形成較大的水滴，這樣水滴可以較快進入凝聚的階段。而小

半圓的曲面較陡峭，水滴形成速度最慢，初期水滴需要更多時間來形成。

二、實驗二：模仿蜜蜂蜂巢結構-六角形儲存凹槽，觀察霧水凝結的表現

（一）實驗結果

比較不同蜂巢深度結構的水量差異

測試組別	表面類型	深度 (mm)	蒐集水量(ml)			平均水量 (ml)
			第一次	第二次	第三次	
對照組	平坦表面	0	1.7	1.6	1.7	1.67
實驗組	六角形表面	1	1.8	1.8	1.8	1.8
實驗組	六角形表面	3	1.6	1.8	1.8	1.73
實驗組	六角形表面	6	2	1.9	1.9	1.93

表 4-2-1 不同圓蜂巢深度的水量差異實驗數據表（本表由作者及指導教師親自繪製）

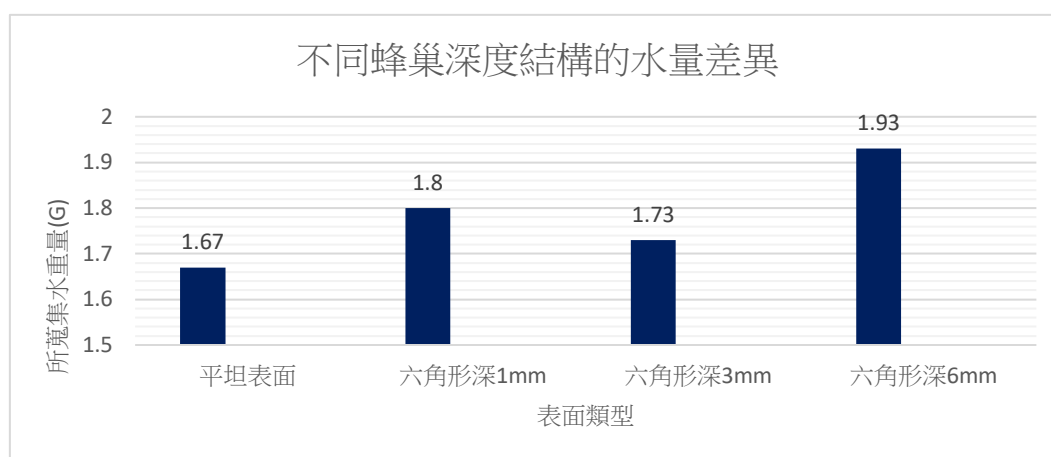


圖 4-2-1 不同蜂巢深度結構水量差異比較圖（本圖由作者及指導教師親自繪製）

深層結構滯留水滴效果較佳，有助於提高水滴的蒐集量，但也增加結構重量。

（二）實驗討論

1. 分析氣流和水滴的分布，霧氣在進入凹槽時，深度較深的六角形凹槽內部氣流變化較少，霧氣在邊壁上凝結而不是被推到底部。淺凹槽的氣流更容易流動，水滴更容易被推到底部並形成積水。



圖 4-2-2 不同蜂巢表面集水狀態（本圖由作者及指導教師親自拍攝裁切）

2. 分析水滴的流動，淺層蜂巢結構水滴流動速度更快，水滴滯留的時間比較少。

三、實驗三：模仿仙人掌的尖刺，觀察霧水凝結的表現

（一）實驗結果

比較不同粗細間隔尖刺度結構的水量差異

測試組別	表面類型	針直徑 (mm)	蒐集水量 (ml)			平均水量 (ml)
			第一次	第二次	第三次	
對照組	平坦表面	0	0.05	0.04	0.05	0.05
實驗組	粗針形表面	1	0.04	0.04	0.04	0.04
實驗組	細針形表面	2	0.04	0.03	0.04	0.04

表 4-

3-1 針形結構實驗水量差異比較表（本表由作者及指導教師親自繪製）

（二）實驗討論

分析氣流和水滴的分布，水滴都凝結在針型的尖端，排與排的中間也沒有明顯凝結的水滴。重量小於平面結構的蒐集水量。

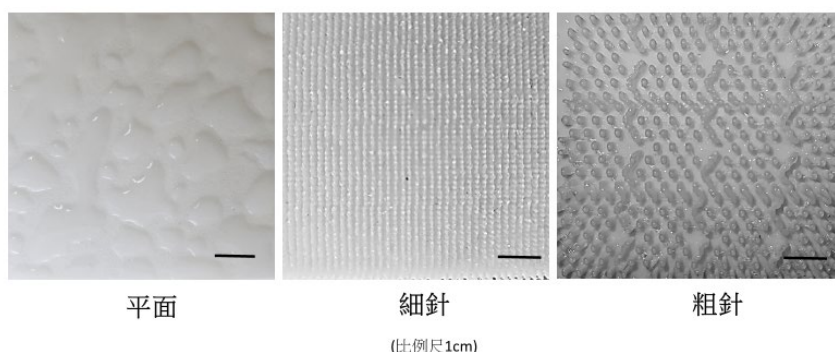


圖 4-3-1 針形結構實驗水量差異比較圖（圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切）

四、實驗四：模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察山區地形逆溫的霧水凝結表現

（一）實驗結果

模擬地形	結構	半小時凝結水量 (g)			平均 (g)	溫度			平均 (°C)
		實驗 1	實驗 2	實驗 3		實驗 1	實驗 2	實驗 3	
低谷	平坦	0.6	0.8	0.8	0.73	18.7	18.0	18.3	18.33
	圓弧凸起	1	1.1	1	1.03				
	六角形	0.7	0.9	0.8	0.80				
高地	平坦	0.5	0.7	0.6	0.60	21.6	23.1	21.3	22.00
	圓弧凸起	0.8	0.8	0.8	0.80				
	六角形	0.5	0.7	0.7	0.63				

表 4-4-1 模擬高地低谷實驗數據

（本表由作者及指導教師親自繪製）

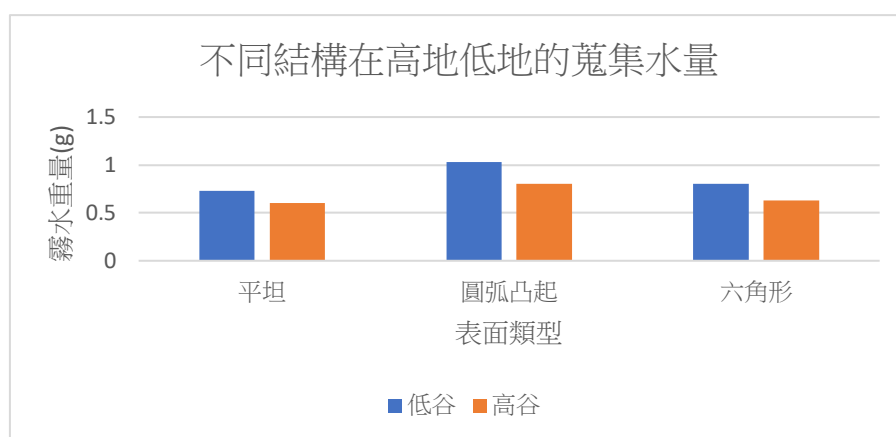


圖 4-4-1 不同結構在高低地的蒐集水量差異比較圖

（本圖由作者及指導教師親自繪製）

（二）實驗討論

從圖中可以看出：

1. 圓弧凸起的凝結水量最高，特別是在低谷區域，霧水凝結效率最佳（1.03g）。
2. 模擬低地環境在三種結構上，平均蒐集到的水量皆高於高地。

五、實驗五：設計與實驗捕霧杯模型

（一）實驗結果

比較三種杯型的蒐集水量

表面類型	蒐集水量(ml)			平均水量 (ml)
	第一次	第二次	第三次	
圓弧杯	1.9	1.8	1.9	1.87
低方杯	1.8	1.8	1.7	1.43
高方杯	5.0	4.7	4.9	4.87

表 4-5-1 三種杯型實驗數據

(本表由作者及指導教師親自繪製)

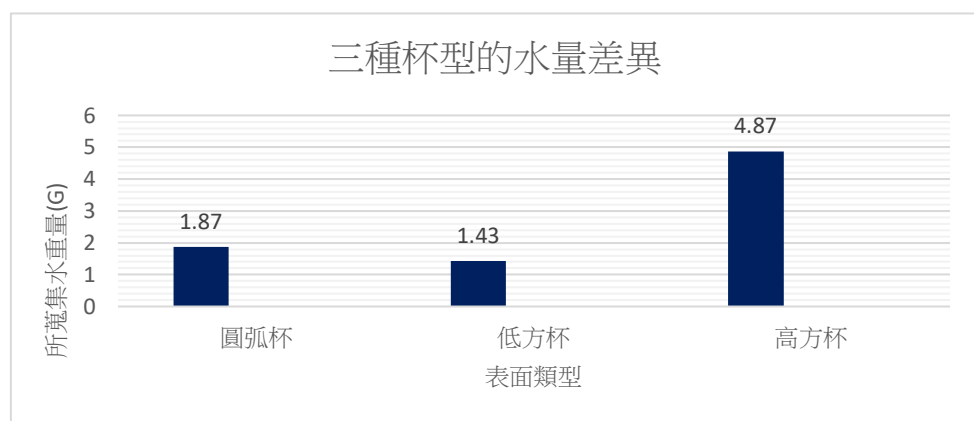


圖 4-5-1 不同杯型結構的水量差異比較圖

(本圖由作者及指導教師親自繪製)

(二) 實驗討論

1. 針對圓弧杯、低方杯、高方杯水量差異進行討論

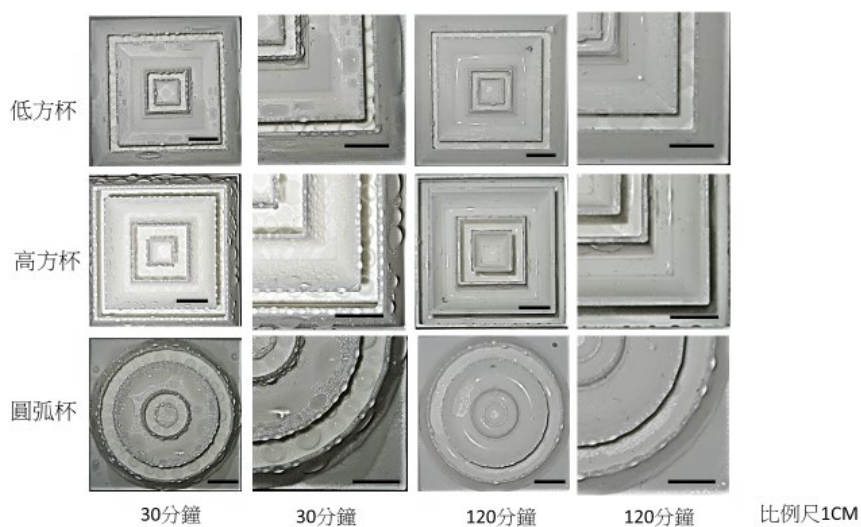


圖 4-5-2 不同杯型結構半小時與兩小時水滴近照對照圖

(圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切)

2. 從圖中可以發現：

前半小時圓弧杯跟低方杯能有效誘導水滴滯留，高方杯僅能蒐集到較小的水滴，聚集水的效率較差。但兩小時後高方杯累積水量明顯高於另外兩種。

六、實驗六：進入台灣不同海拔地區，觀察捕霧杯霧水凝結表現

（一）實驗結果

1. 總捕霧量紀錄：我們整理環境條件，並將平面捕霧板、圓弧捕霧杯、低方捕霧杯、高方捕霧杯相加之總捕霧量紀錄結果如下表：

編號	地點	氣溫(°C)	風速(m/s)	溼度(%)	經緯度	總捕霧量(g)
1	陽明山冷水坑(740m)	16.6~19.9	5.7~4.1	57~99	經:121 緯:25	32.70
2	卓蘭漁光中營區(490m)	17.5~15.4	0.8~1.9	73~99	經:120 緯:24	0.20
3	大雪山國家森林遊樂區 (2250m)	10.6~16.0	0.9~3.7	47~81	經:121 緯:24	0.10
4	新竹五峰賓狗窩露營區 (990m)	12.1	0.2	69	經:121 緯:24	0.90
5	台南善化 (20m)	19.6~19.2	2.6~9.1	57~49	經:120 緯:23	0

表 4-6-1 實地踏查捕霧數據紀錄

（本表由作者及指導教師親自繪製）

2. 不同捕霧杯型在各地點凝結水量(g)比較

結構	陽明山 (g)	卓蘭(g)	大雪山 (g)	五峰(g)	善化(g)	總量(g)
平面捕霧板	3.9	0	0	0.2	0.1	4.2
圓弧捕霧杯	7.6	0.1	0	0.2	0.2	8.1
低方捕霧杯	4.5	0	0	0.2	0.2	4.9
高方捕霧杯	16.7	0.1	0.1	0.2	0.4	17.5

表 4-6-2 不同捕霧杯型在各地點凝結水量(g)比較

（本表由作者及指導教師親自繪製）

（二）實驗討論

討論溫度、濕度、風速對霧水凝結與流動的影響。透過照片與數據分析水滴在不同結構表面上的流動機制，確認最有效的捕霧設計。

1. 先查詢實驗場域特性：

- (1) 大雪山國家森林遊樂區（海拔 2250m）：高海拔雲霧帶，全年霧氣頻繁。
- (2) 新竹五峰賓狗窩露營區（海拔 990m）：高海拔雲霧帶，全年霧氣頻繁。
- (3) 陽明山冷水坑（海拔 740m）：氣候潮濕，常有霧氣生成，適合捕霧測試。
- (4) 卓蘭漁光中營區（海拔 490m）：丘陵地帶受季風影響，霧氣變化明顯。
- (5) 台南善化（海拔 20m）：平原地區，濕度相較較低，作為低海拔對照組。

2. 分析個別地形跟霧氣成因：

地點	地形	霧氣成因
大雪山國家森林 遊樂區	高山地區	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上坡霧 濕潤氣流爬升冷卻，形成霧林帶 2. 持續性雲霧 受高海拔影響，大多時間都有雲霧
新竹五峰賓狗窩 露營區	高山地區	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上坡霧 濕潤氣流爬升冷卻，形成霧林帶 2. 持續性雲霧 受高海拔影響，大多時間都有雲霧
陽明山 冷水坑	火山地形 地形起伏大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上坡霧 潮濕空氣順著地形上升，冷卻形成霧 2. 輻射霧 夜間地表冷卻，早晨易出現霧氣 3. 平流霧 季風帶來的水氣遇冷後凝結
卓蘭漁光中營區	丘陵地形 地形抬升 中低海拔山地	<ol style="list-style-type: none"> 1. 平流霧 冬季東北季風夾帶濕氣，沿丘陵形成 2. 上坡霧 濕潤空氣沿著坡地上升，冷卻凝結
台南善化	平原地形	<ol style="list-style-type: none"> 1. 輻射霧 冬季偶因夜間地表冷卻形成，但不如高地頻繁 2. 低層平流霧

當潮濕空氣流入內陸，可能產生輕霧

表 4-6-3 地形跟霧氣成因（本表由作者及指導教師親自繪製）

3. 結合 google map 分析地形跟霧氣成因：

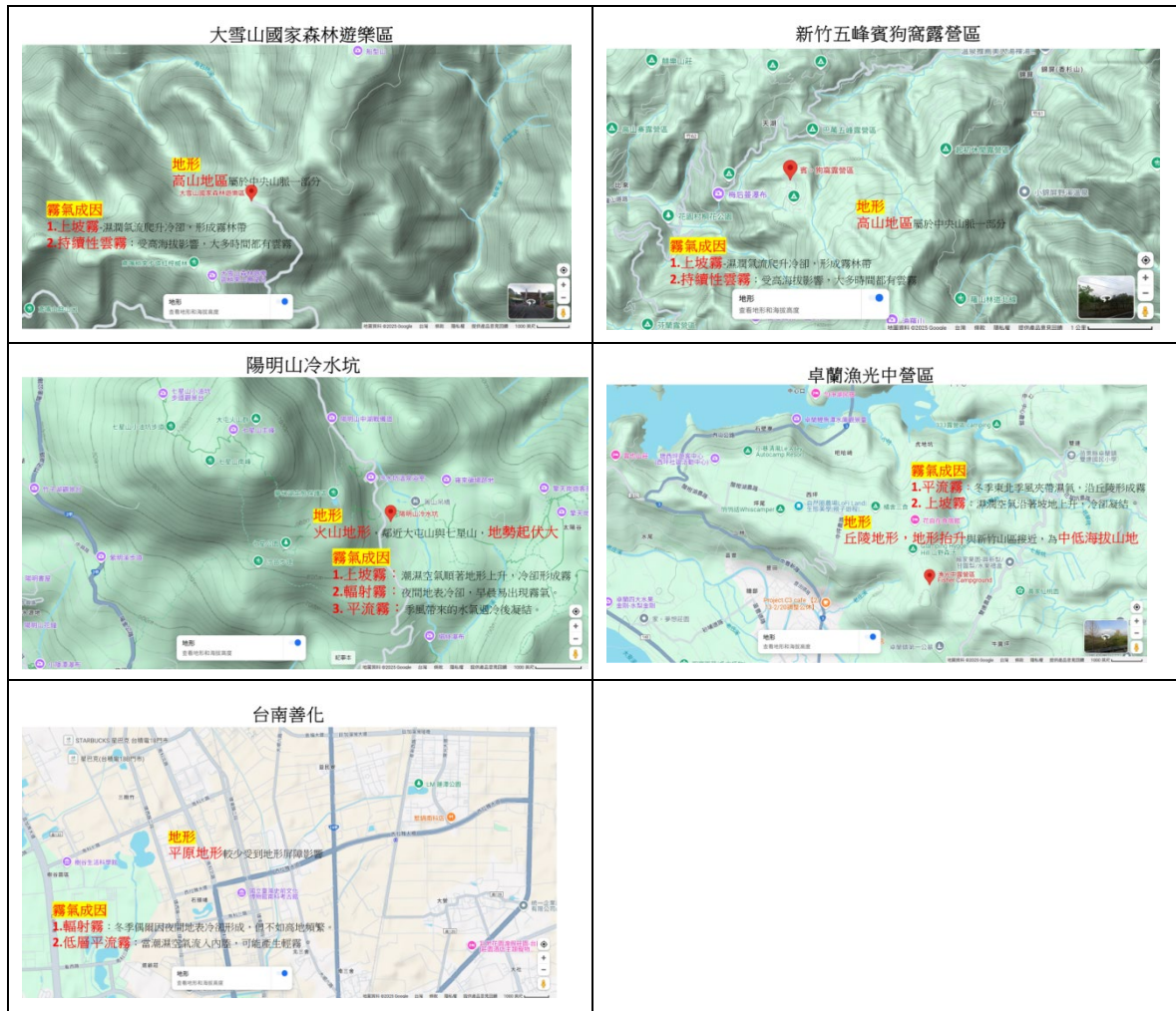


圖 4-6-1 結合 google app 分析霧氣成因

（圖片由作者及拍攝指導教師親自擷取 google app 裁切）

4. 分析與發現：

(1) 海拔與捕霧量的關係

高海拔區域的捕霧效果最佳。陽明山冷水坑（740m）：總捕霧量 32.7g，遠高於其他地點。新竹五峰賓狗窩露營區（990m）：總捕霧量 0.62g - 0.90g，相較於低海拔仍有較好表現。大雪山國家森林遊樂區（2250m）：捕霧效果極差（0g 或僅 0.1g），可能與當時環境因素如相對濕度、氣流影響有關。低海拔地區捕霧效果不佳。台南善化

(20m)：捕霧量為 0g，主要原因可能為濕度較低（57% - 49%）。

卓蘭漁光中營區（490m）：僅 0.2g，顯示出該區域的霧氣並不穩定。

(2) 濕度與捕霧效率

高濕度（90%以上）對霧水凝結有明顯幫助，如陽明山冷水坑（99%）的捕霧量遠高於其他地點。低濕度（70%以下）時，捕霧效率急劇下降，如大雪山（47% - 74%）捕霧量幾乎為零。

(3) 風速影響

風速過高可能影響霧滴凝結，例如：陽明山冷水坑（風速 5.7 m/s）仍能有效捕霧，可能因霧氣濃度高且霧水凝結時間足夠。大雪山（風速 0.9 - 3.7 m/s）捕霧效果差，可能因霧滴被風帶走，未能有效附著於捕霧杯上。

(4) 結果發現：

- 圓弧與高方捕霧杯的效率較佳：在高濕度環境（如陽明山），這兩款結構可誘導水滴更快地匯聚，提高集水效率。
- 低海拔與低濕度地區捕霧效果極差：如台南善化，受限於濕度低，幾乎無法凝結霧水。
- 不同風速條件影響水滴形成：過高風速可能將凝結的水滴吹散，而低方捕霧杯在適中風速下能有效維持霧水滯留。

伍、結論

本研究探討了仿生集水表面在台灣山區霧氣捕捉上的應用，並透過實驗驗證不同結構設計對霧水蒐集效率的影響。主要結論如下：

一、圓弧凸起結構提高霧水蒐集效率

模擬納米布沙漠甲蟲的圓弧凸起結構實驗結果顯示，較大直徑的圓弧表面能提供更大的凝結面積，促進霧水形成與滯留，蒐集水量優於平坦表面。實驗顯示，大直徑的圓弧凸起（1.3cm）蒐集的霧水量平均為 3.67g，較小直徑（0.4cm）的

2.77g 高出約 32%。

二、六角形凹槽結構助霧水儲存

參考蜜蜂蜂巢結構的六角形凹槽設計，實驗結果顯示較深（約 6mm）的凹槽能有效提高霧水的蒐集與導流效率。有助於霧水滯留。6mm 深的六角形凹槽平均蒐集水量為 1.93ml，優於 1mm 與 3mm 深度的設計。

三、尖刺結構影響氣流進入，無法導引跟有效蒐集，集水效果較平面差。

四、模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察山區地形逆溫的霧水凝結表現

圓弧凸起的凝結水量最高，特別是在低谷區域，霧水凝結效率最佳（1.03g）。模擬低地環境在三種結構上，平均蒐集到的水量皆高於高地。

五、環境條件對霧水蒐集的影響

1. 海拔影響：高海拔不一定能提升捕霧量。陽明山冷水坑（740m）總捕霧量 32.7g，捕霧表現最佳。大雪山國家森林遊樂區（2250m）捕霧效果極差（0g 或僅 0.1g），顯示高海拔並不必然有較好的捕霧效果。
2. 濕度影響：高濕度 (>90%) 能顯著提升霧水凝結效率，陽明山冷水坑（99%）捕霧效果顯著優於其他地點。低濕度 (<70%) 地區（如台南善化、部分大雪山測試點）幾乎無法有效捕霧。
3. 風速影響：風速適中（如 新竹五峰賓狗窩 0.2 m/s）時，捕霧效果較佳。風速過高（如 陽明山冷水坑 5.7 m/s）時，若霧氣濃度足夠，仍可有效捕霧。
大雪山（0.9 - 3.7 m/s）風速變化較大，可能導致霧滴無法有效附著於捕霧杯。

六、最佳捕霧杯設計與應用

在教室模擬實驗中剛開始高方形凹槽設計匯集水滴較小，但兩小時後高方杯總累積水量明顯高於(相差 4g)，另外圓弧與低方杯。

實地踏查中，具有圓弧凹槽設計結構的捕霧杯在高濕度環境下表現最佳，能有效誘導水滴聚集。方形凹槽設計在風速適中時有良好的水滴滯留能力，可提升霧水

蒐集量。根據不同環境條件，可選擇不同表面設計，以最大化霧水蒐集效率，我們發現：

1. 環境條件是影響捕霧效率的關鍵

濕度是最重要的因素，當濕度低於 70% 時，霧水凝結效果極差，即使在高海拔地區（如大雪山），捕霧量仍然接近 0g。風速適中最有利於捕霧，過高可能導致水滴被吹散，過低則可能降低霧氣附著機率。

2. 捕霧杯設計需針對不同環境進行優化

圓弧凸起結構適用於高濕度環境，可有效提高凝結效率。方形與圓形凹槽結構適用於適中風速的環境，有助於水滴滯留。

3. 低海拔與低濕度地區不適合進行捕霧，應尋找替代水源方式。

七、未來研究展望

改進材料特性，如表面親疏水處理或奈米塗層，以提升捕霧效率。長期測試不同環境條件，驗證捕霧杯的穩定性。實際應用於登山活動與缺水地區，評估捕霧杯在登山活動或缺水地區的實際應用價值。

陸、參考文獻資料

一、捕霧原理與應用

（一）張子午（2022 年 10 月 21 日）。茶農與學者的因應行動：在雲霧中尋找未來——氣候暖化下，阿里山高山茶的存續問題。**報導者**。

<https://www.twreporter.org/a/climate-change-and-cloud-forests-alishan-high-mountain-tea>。

（二）林敏朝、林博雄（2016）。從霧氣中取水的實驗與探討——以苗栗三義茶園攔截霧水實驗為例。《土木水利》，43(2)，67-75。取自

<http://www.ciche.org.tw/wordpress/wp-content/uploads/2018/02/DB4302-P067-%E5%BE%9E%E9%9C%A7%E6%B0%A3%E4%B8%AD%E5%8F%96%E6%B0%B4.pdf>

（三）賴冠良（2009）《霧及水平降水之多重策略觀測》（Multi-strategy for fog and horizontal precipitation measurement）。雪霸國家公園管理處委託進行的「觀

霧地區雲霧環境之監測與模式建立研究」。

(四) 大學報 (2017 年 12 月 14 日) 攜帶式捕霧包飲用水輕鬆取

<https://unews.nccu.edu.tw/unews/f-%E9%9B%BB%E5%AD%90->

[%E6%94%9C%E5%B8%B6%E5%BC%8F%E9%9B%86%E6%B0%B4%E6%8D%95%E9%9C%A7%E8%A8](https://unews.nccu.edu.tw/unews/f-%E9%9B%BB%E5%AD%90-%E6%94%9C%E5%B8%B6%E5%BC%8F%E9%9B%86%E6%B0%B4%E6%8D%95%E9%9C%A7%E8%A8)

(五) 黃倬英。(2021-2023)。多面向氣候變遷與大阿里山茶區生態系服務整合研究－瞭解氣候變遷下雲霧帶下緣大阿里山茶區生態系服務的改變與調適(共同主持人研究計畫)。科技部。

二、歷屆捕霧網科展報告

(一) 莊舒涵、葉恩瑀、葉恩瑄、劉昱君、蔡智雅(2017) 霧網恢恢 「疏」而不「漏」-捕霧網的探究與應用，中華民國第 57 屆中小學科展說明書

(二) 段奕鳴、李承穎、王子宸 (2019) 探網取霧－影響捕霧網集水特性之探討與應用，中華民國第 59 屆中小學科展說明書

三、生物照片網頁

(一) 文/陳信鈞、圖/楊惠娟 (2014 年 7 月 9 日) 黃跗虎頭蜂。取自國立臺灣博物館臉書 National Taiwan Museum

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10152127692061193&id=230461351192&set=a.422342526192>

(二) 賴婉婷、歐陽盛菊、歐陽盛芝 (2017 年 1 月 9 日)。〈『臺博新知』：可從空氣中高效集水的新仿生表面。〉取自國立臺灣博物館網誌

https://ntmedu.blogspot.com/2017/01/blog-post_9.html

柒、研究心得

一、我這次做科展是因為很多人幫忙，如果沒有其他人，我們也沒有辦法借到那些實驗設備(像是水霧機跟環形補光燈)，要不是同學分工寫報告跟上山蒐集資料，我也不可能自己把簡報弄完，露營捕霧實驗也就根本不會有數據，科展也不會做完。所以謝謝大家。也感謝幫我把 3D 列印圖拿去列印的組長。我學到霧水是可以用电

子秤秤的出來的，3D 列印會有特別的紋路，還學到怎麼在 TINKERCAD 裡傾斜物體和挖洞。我覺得這個主題很好玩因為可以玩水，這個主題還是我四下學期初就決定要做這個了。我原本想要用青蛙，身上放凸起物來捕霧，但在網路上找不到有在賣我想要的尺寸青蛙模型，所以五上老師就叫我們自己討論圖形，跟把想法用軟體自己畫出來。這是很棒的經驗。

- 二、我覺得如果有較大的捕霧板應該能捕捉到更多霧氣，因為表面積較大，能攔截較多水氣，增加水滴凝結的機會，提高集水效率。如果能將捕霧板的面積變得大一點，應該能蒐集到更多水，提升集水效果，更有效的蒐集水。
- 三、這是我第一次做科展，我覺得很好玩，從做實驗到寫報告都和同學一起完成，雖然做實驗時要到高山上捕霧，但我覺得很好玩。因為捕霧時有可能突然下雨讓數據不準，也有可能沒起霧，為了找霧到處跑來跑去，讓我覺得捕霧是很難的事情。我們在做實驗時，發現了用捕霧箱造的霧，在透明的箱子時最上面沒有霧的現象時都覺得很驚訝，後來再多查資料發現像是冷空氣池的樣子，所以我們又多設計這個部分的實驗。在做科展前，老師也有在暑假出暑假作業給我們寫，我們先找一下資料，只是有點累。我們每天都在練習要報告的內容，讓我覺得很累，還好有老師幕後幫我們一直練習，才讓我們可以渡過難關。
- 四、在這次的研究與實驗中，雖然中途有許多的坎坷，例如：在做實地實驗中忘記如何用電子秤，結果超級冷的，或突然有點飄雨所以只好延期等。但也是因為經歷過這些風風雨雨，我也才學會要有堅持的毅力，和努力的心，才可以完成這些事。在此也十分感謝大家的幫助和耐心。我們這組的人有兩個比我小的四年級學生，所以在課程的安排下比較難在一起，所以大多都是要回家完成的功課。但也從中培養出了一起的默契，所以希望下次做研究的時候，還可以在一起。

【評語】 080508

極端氣候頻繁，讓水資源的再利用這個議題變得很重要，而本研究希望讓捕霧杯成為另一種水資源再利用的工具。本研究藉由不同的表面特徵(概念來自動植物相關的表面特徵)，探討相對應收集水量的效益。這個團隊實驗設計完整，結果與討論的呈現詳實，回答也相當清楚簡潔，值得鼓勵。

作品海報



「杯」請「霧」入

仿生集水表面應用於臺灣山區霧氣捕捉研究

摘要

本研究探討仿生集水表面應用於台灣山區霧氣捕捉，並聚焦如何為需水性高的植物提升種植水源。近年來氣候變遷導致水氣減少，農作需仰賴額外技術補充水源。

藉由模擬沙漠甲蟲圓弧凸起與蜂巢六角形凹槽仿生結構能顯著提升霧水蒐集效率；3D列印不同表面結構的捕霧杯，於實驗室內模擬霧氣環境。進而走入台灣不同海拔地區，驗證各環境條件對捕霧效率的影響。

研究發現，陽明山濕度99%風速5.7 m/s環境中，集水效果最佳（32.7g）；大雪山高海拔，但濕度低風速變化較大，捕霧量幾近為零，風速及海拔影響顯著；特別在高濕度環境下表現最佳。

提出具潛力之捕霧杯模型，應用於水資源不足地區，提高需水性植物水源供給，以維護生態多樣性環境。

研究動機

隨著氣候變遷加劇，乾淨水資源日益重要。臺灣雖水資源豐富，近年來也因氣候變遷導致山區霧氣頻率與濃度不穩，影響需穩定水氣供應的高需水性植物。

以茶樹為例，其生長需長期穩定供水，以確保嫩枝與嫩葉品質；傳統依賴自然降雨與霧氣凝結，已逐漸無法滿足需求。各地名茶產區雖具備水氣通道與地形抬升條件，仍面臨區域水源不足。

因應氣候變遷挑戰，發展具仿生概念的捕霧裝置，有望成為補充水資源的新途徑。本研究從自然界集水結構汲取靈感，設計捕霧杯，並實地走進台灣不同地形環境以測試其應用效果。

研究目的

- 1. 探討模仿納米布沙漠甲蟲圓弧凸起表面的大小水滴捕獲的差異。
- 2. 模擬蜂巢形狀設計，分析六角形凹槽結構如何提升霧水的蒐集與儲存能力，探討氣流引導與水滴分布的影響。
- 3. 模擬自然界中尖刺結構，探究不同粗細、間距設計對霧水凝結的影響。
- 4. 模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察霧水凝結表現。
- 5. 根據實驗得出的最佳霧水凝結結果，設計一款具實用性的捕霧杯模型，提升霧水蒐集效率。
- 6. 進入臺灣山林以集水杯蒐集霧氣，觀察霧水凝結的表現。

生物集水方式探討

納米布沙漠甲蟲



（圖片來源：賴婉婷、歐陽盛菊、歐陽盛芝（2017年1月9日）。〈「臺灣新知」：可從空氣中高效集水的新仿生表面。〉國立臺灣博物館網站）

蜜蜂蜂巢結構



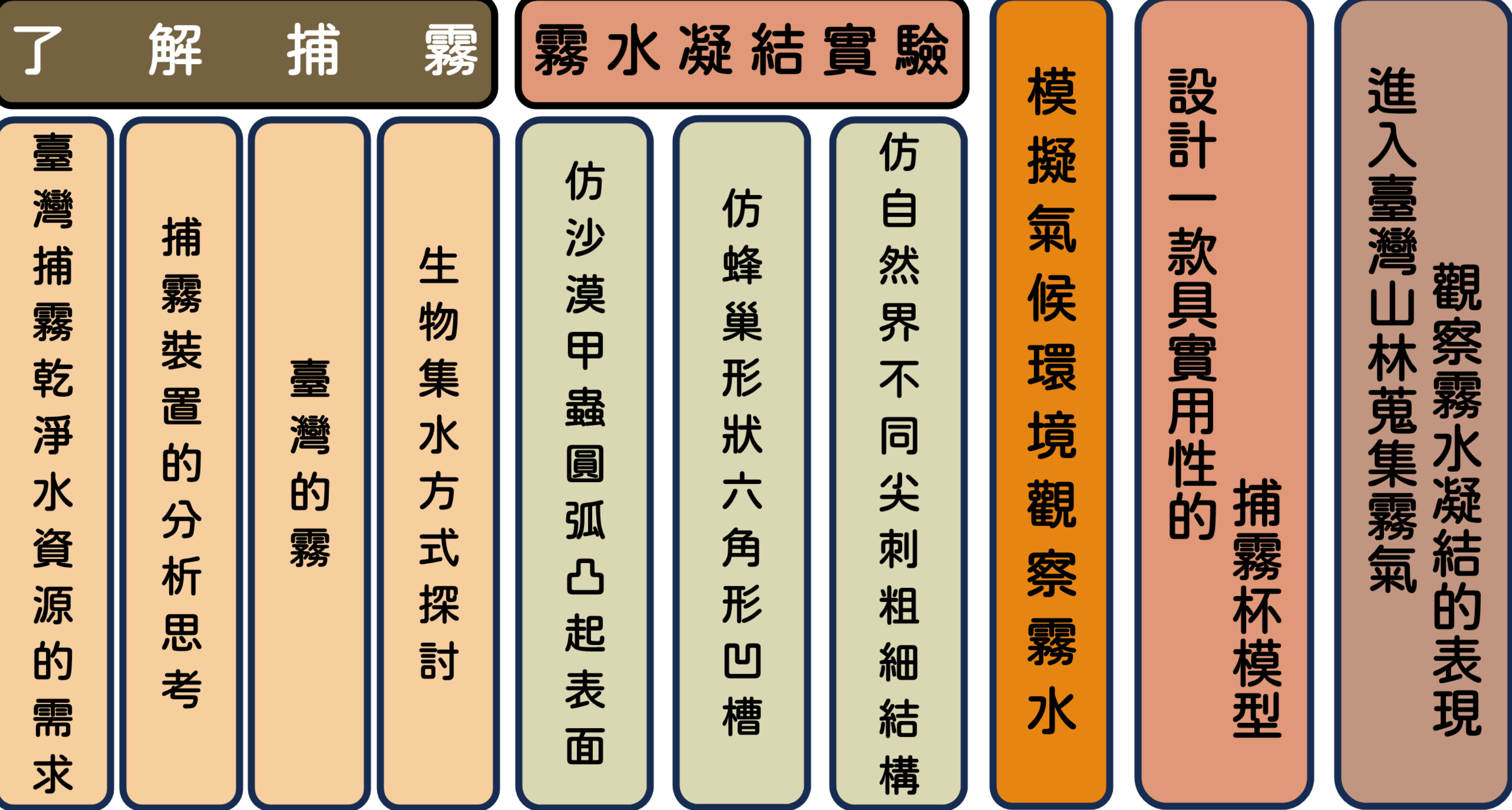
（圖片來源：文/陳信鈞、圖/楊惠娟（2014年7月9日）黃則虎攝影。取自國立臺灣博物館臉書）

仙人掌尖刺結構



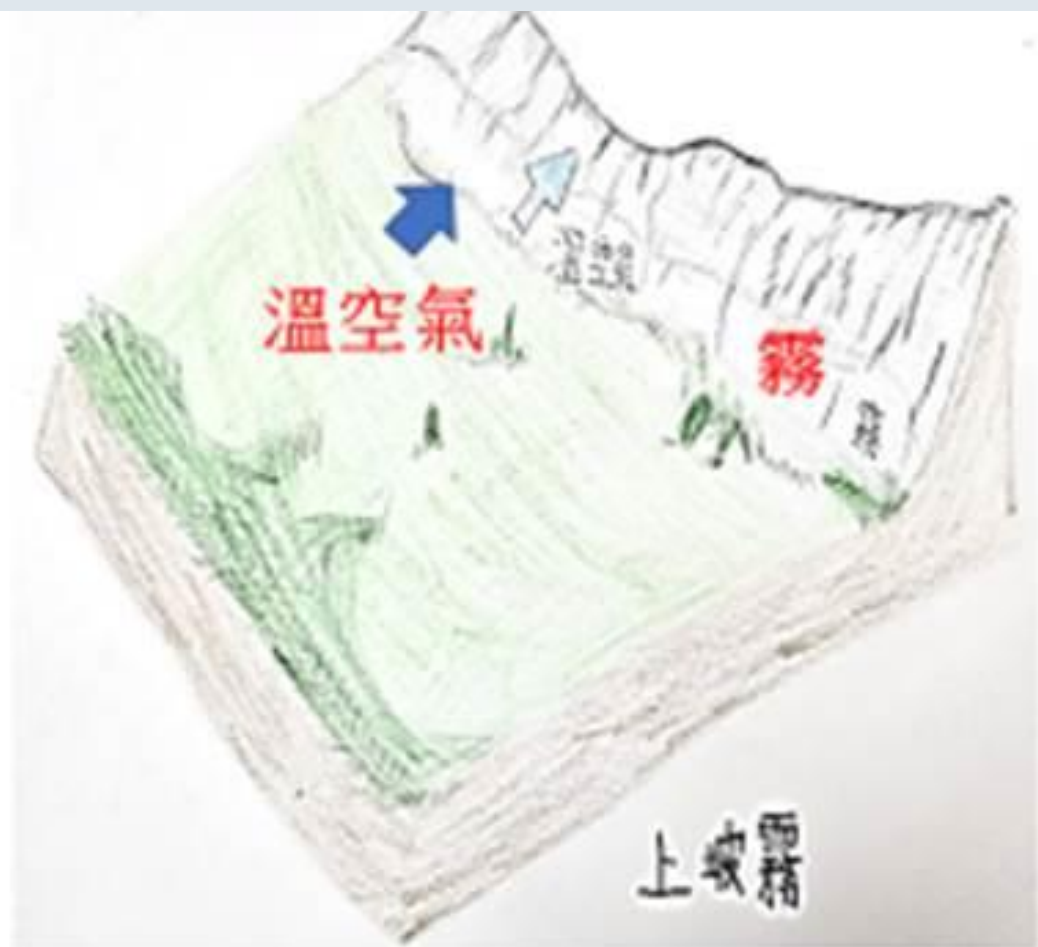
研究架構流程圖

「杯」請「霧」入 -仿生集水表面應用於臺灣山區霧氣捕捉研究



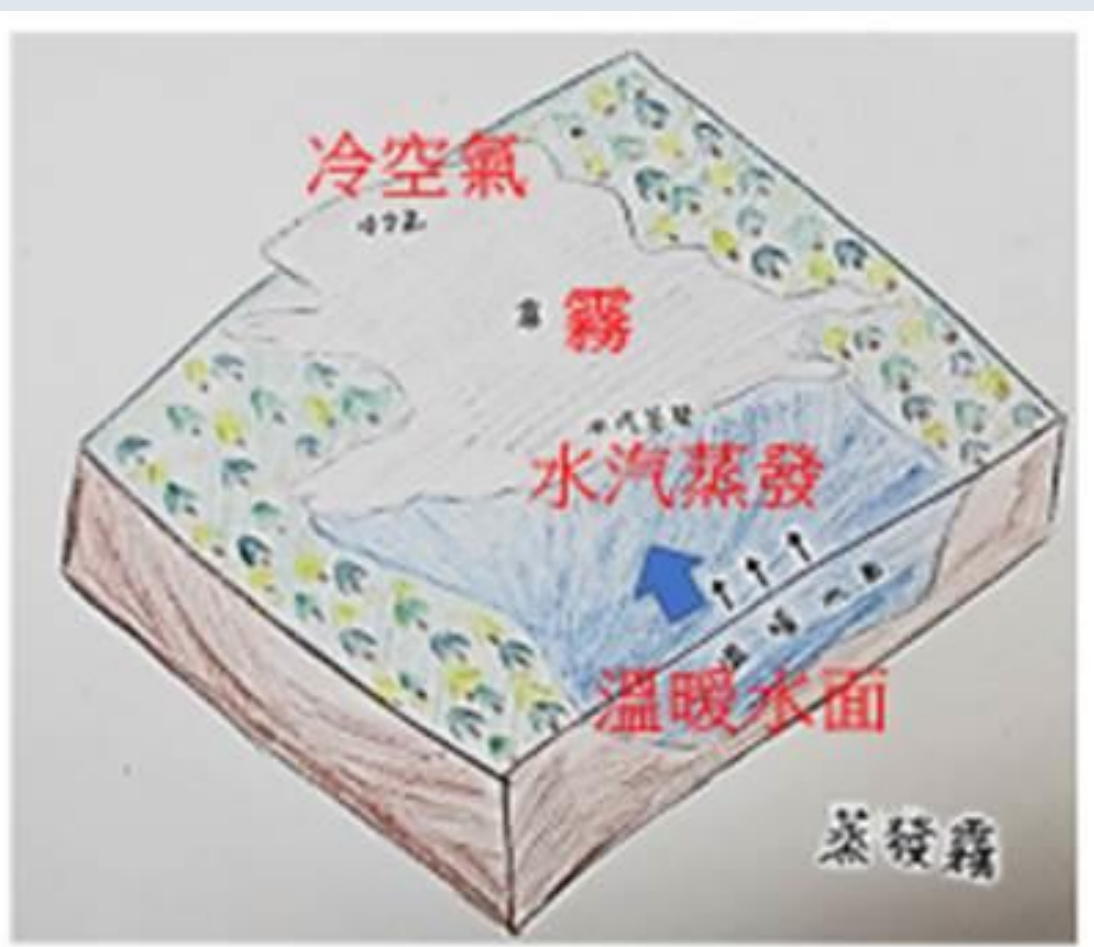
霧的種類與生成

上坡霧



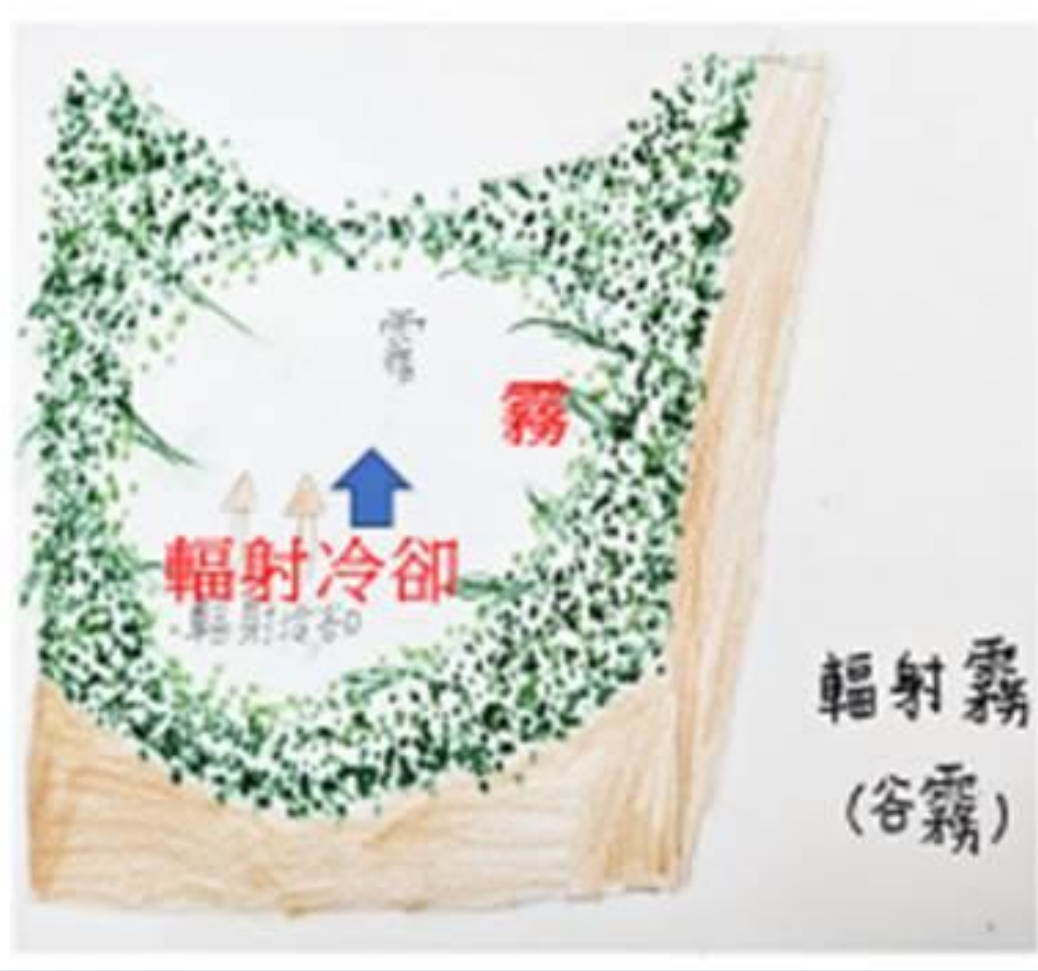
上坡霧

平流霧



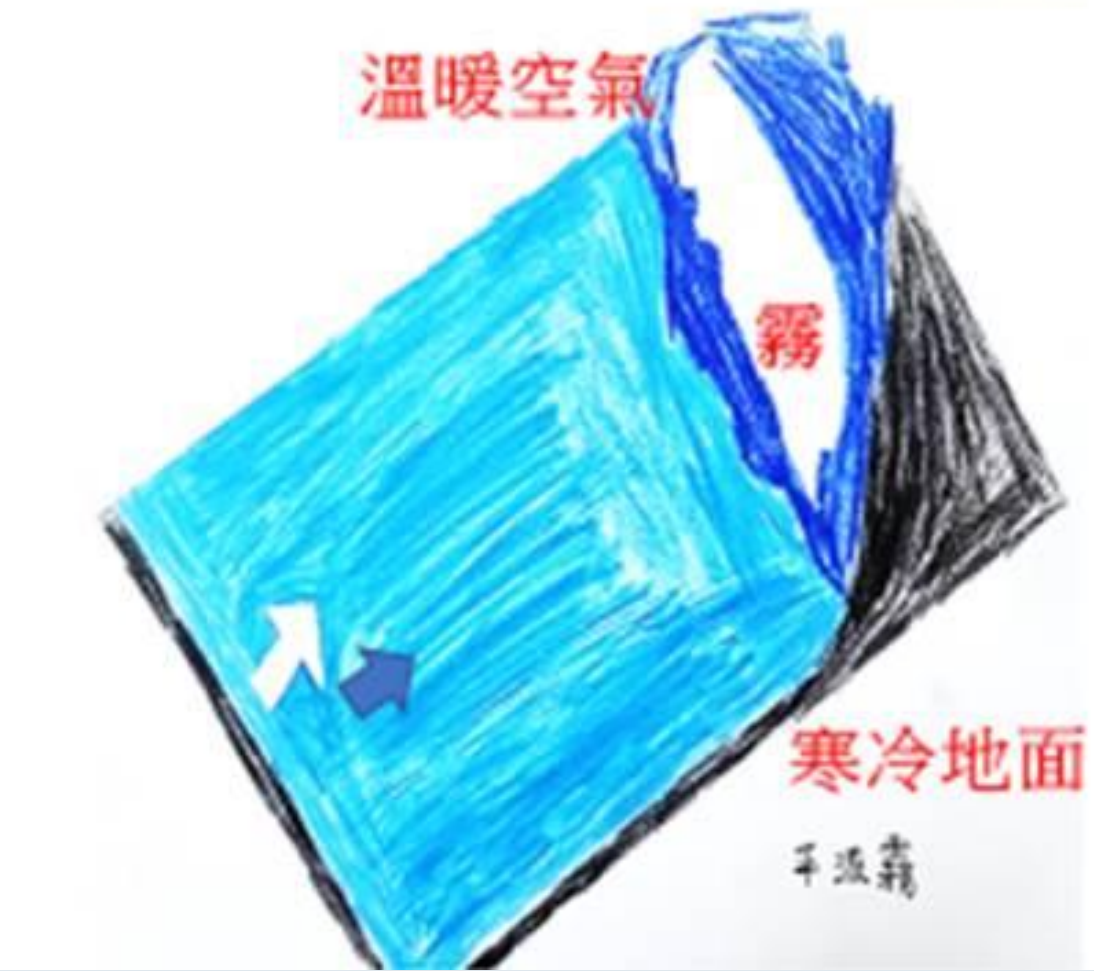
平流霧

蒸發霧



蒸發霧

輻射霧



輻射霧
(谷霧)

（圖片由作者及指導教師親自繪製及加入圖說）

臺灣山區霧氣特性

臺灣的山區霧林帶（1,000～2,500公尺海拔）經常籠罩在雲霧中，例如雪霸國家公園、陽明山、大雪山等地，全年霧氣頻繁發生，相當適合捕霧的設置。

臺灣山區適合集霧的原因如下：

氣溫與濕度

當空氣中水氣達到飽和，且遇到冷空氣時，水氣會凝結形成霧滴。臺灣相對溼度高，日夜溫差大。


地形影響

山區的逆溫層（夜間地表輻射冷卻）可造成冷空氣滯留，使霧氣更易於形成。如根據觀霧地區的氣象監測，霧發生頻率最高的月份為：4月(49.2%)與6月(43.0%)。

季節變化明顯


板狀捕霧工具

三義茶園研究單面捕霧網



（圖片來源：林敬朝、林博雄（2016）。從霧氣中取水的實驗與探討－以苗栗三義茶園攔截霧水實驗為例。《土木水利》，43(2)，p.71）

十字形捕霧網



研究設備及器材

水霧器	冰塊盒
透明箱45×33×33cm	鐵盤
溫溼度感測器	培養皿
環形補光燈	電子秤
自製3D列印板	盤子
直尺、量角器	試管架
板夾	滴管
手機、電腦	紙、筆
酒精溫度計	橡皮擦

（圖片由作者及指導教師親自繪製）

實驗一

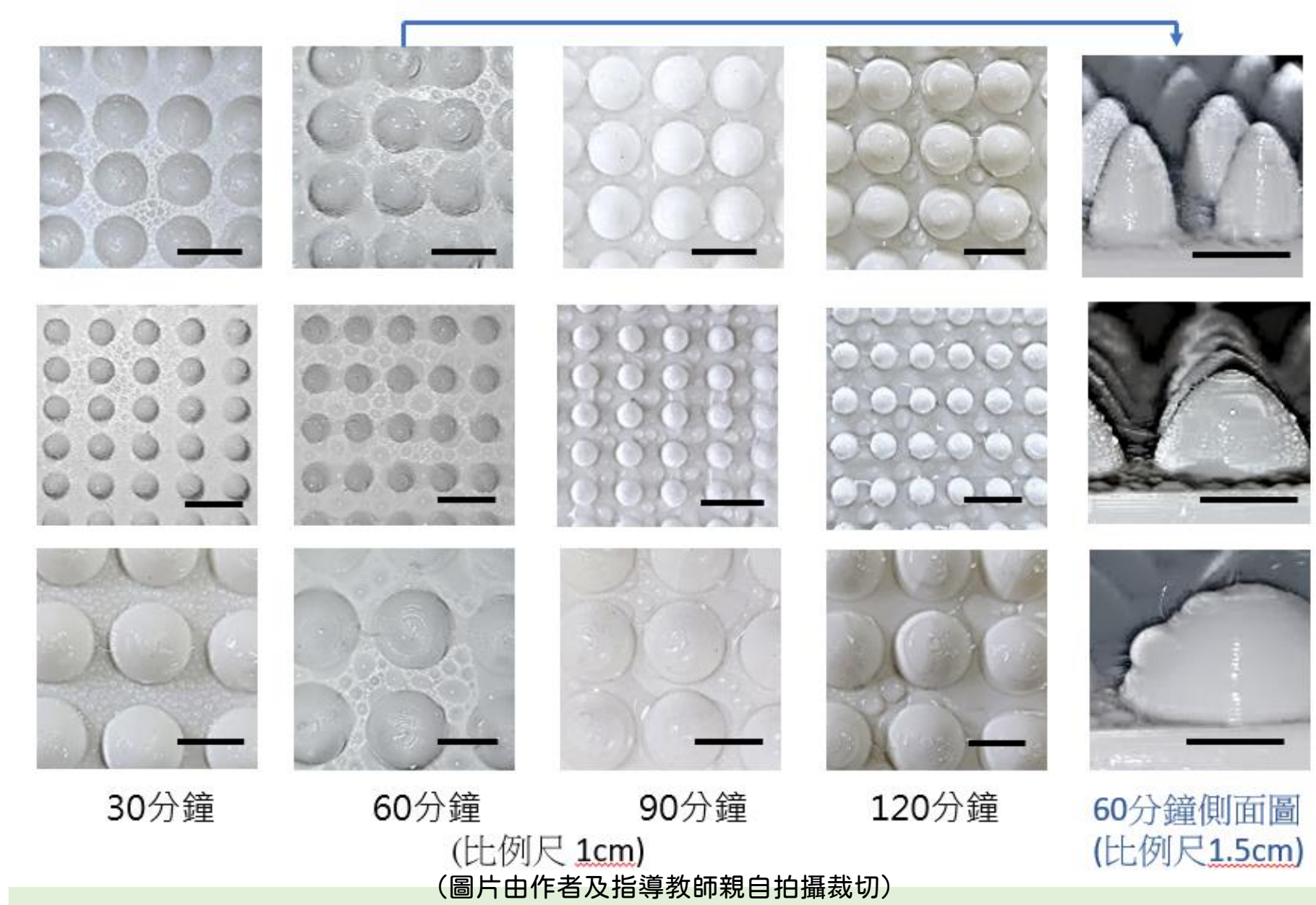
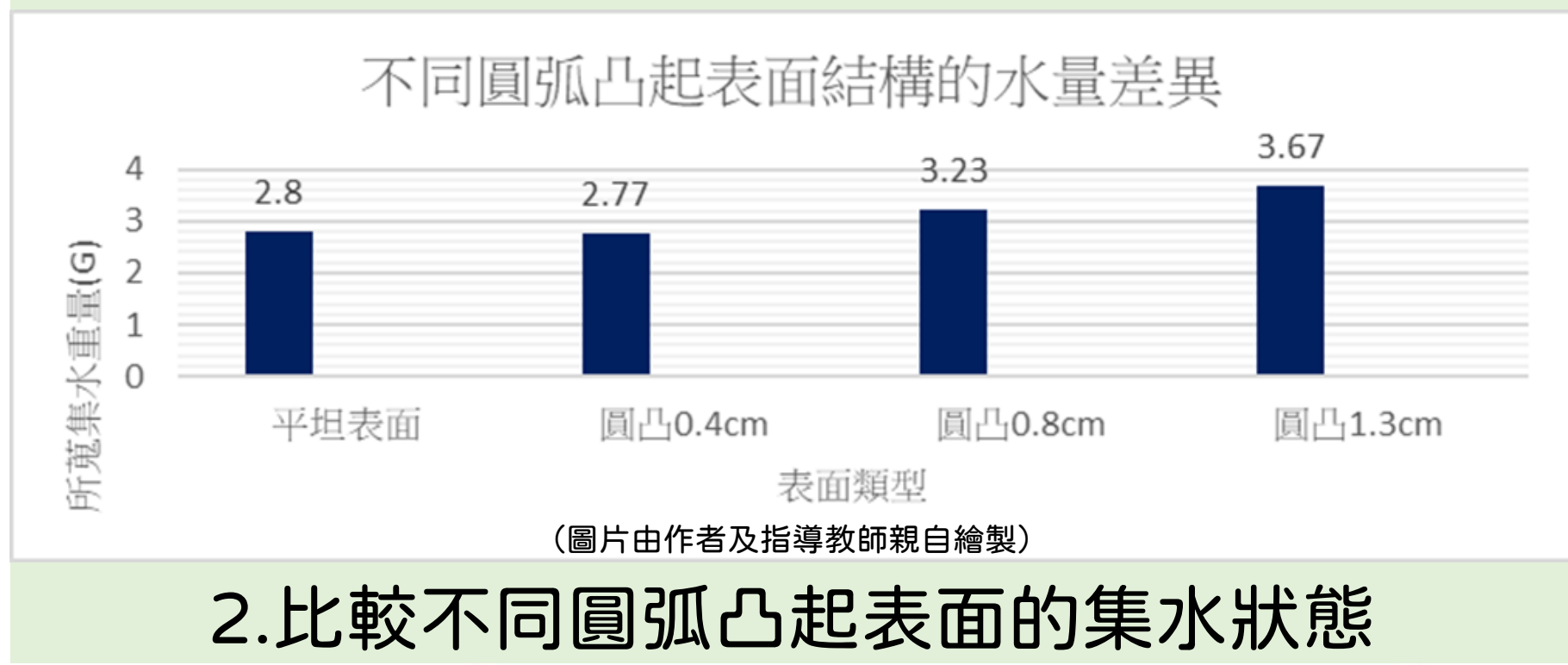
模仿沙漠甲蟲背部凸起結構-親疏水密度，觀察霧水凝結的表現

研究構想	納米布沙漠甲蟲翅鞘上的親疏水凸起結構是他的集水關鍵，因此我們以不同的凸起效果進行設計。
3D列印	實驗組：圓弧凸起板（直徑0.4、0.8、1.3公分） 對照組：平坦表面
變因條件	凸起密度與尺寸 室溫26.9℃，加濕器濕度99%，2hrs

研究發現

1.比較不同圓弧凸起表面的水量差異						
組別	表面類型	直徑 (mm)	蒐集水量(g) (測量重量－實驗前測量的重量)			平均水量(g)
			實驗1	實驗2	實驗3	
對照組	平坦表面	0	2.7	2.9	2.8	2.8
實驗組	圓弧凸起表面	4	2.6	2.8	2.9	2.77
實驗組	圓弧凸起表面	8	3.0	3.4	3.3	3.23
實驗組	圓弧凸起表面	13	3.3	3.6	3.7	3.67

(表格由作者及指導教師親自繪製)



實驗結果與討論

- 分析表面積與凝結效果：較大直徑圓弧狀（直徑1.3公分）提供了最大的表面積來捕捉霧氣。在相同的時間內，大直徑可以凝結粒徑較大的水滴。
- 分析曲面與水滴大小：較大直徑圓弧在水滴開始形成時，由於其曲面較平緩，容易形成較大的水滴，凝聚速度也較快。而小半圓的曲面較陡峭，水滴形成速度最慢。

實驗二

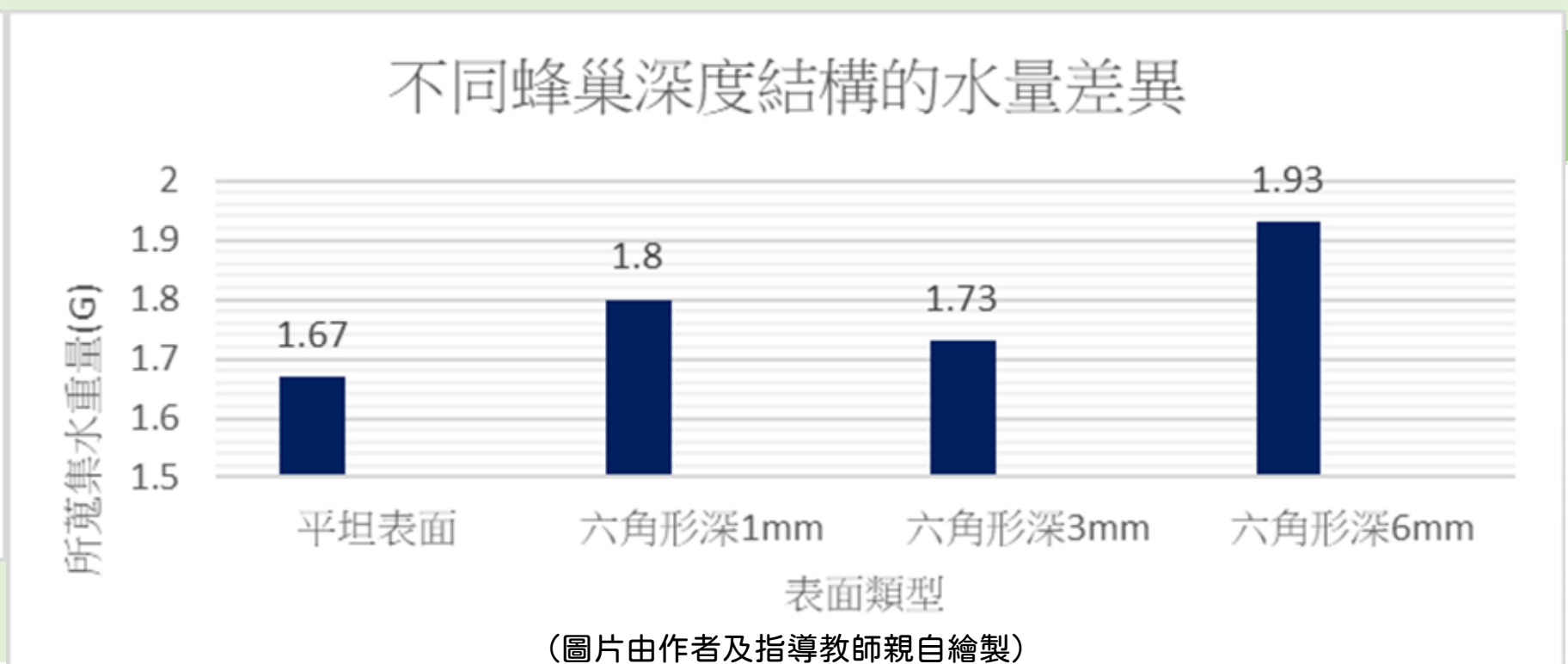
模仿蜜蜂蜂巢結構-六角形儲存凹槽，觀察霧水凝結的表現

研究構想	蜜蜂蜂巢的六角形結構兼具節省材料與儲存功能，我們以不同邊長與凹槽深度進行設計與觀察。
實驗組：	六角形凹槽板（深度0.1、0.3、0.6公分） 對照組：平坦表面
變因條件	凹槽深度 室溫27℃，加濕器濕度91%，2hrs

研究發現

比較不同蜂巢深度結構的水量差異						
測試組別	表面類型	深度 (mm)	蒐集水量(ml)			平均水量 (ml)
			第一次	第二次	第三次	
對照組	平坦表面	0	1.7	1.6	1.7	1.67
實驗組	六角形表面	1	1.8	1.8	1.8	1.8
實驗組	六角形表面	3	1.6	1.8	1.8	1.73
實驗組	六角形表面	6	2	1.9	1.9	1.93

(表格由作者及指導教師親自繪製)



深層結構滯留水滴效果較佳，有助於提高水滴的蒐集量，但也增加結構重量。

實驗結果與討論



(圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切)

- 分析氣流與水滴分布：霧氣在進入凹槽時，深凹槽氣流穩定，霧氣多凝結於邊壁。淺凹槽氣流更容易流動，水滴易流到底部形成積水。
- 分析水滴流動：淺凹槽水滴流動速度更快，水滴滯留時間較短。

實驗四

模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察山區地形逆溫的霧水凝結表現

研究構想	經過實驗一到實驗三模擬生物的集水方式實驗，實驗四將模擬環境做觀察。				
器材準備與設定	(圖3-2-3由作者及指導教師取自中央氣象署CODIS氣候觀測資料查詢服務) (圖3-2-4作者及指導教師取自CODIS氣候觀測資料查詢服務2024年4月雪霸觀測站COD550月報表)				
	使用CODIS 氣候觀測資料比較新竹縣山區的各自動氣象站：基於高海拔位置、高濕度、低溫、環境多樣性與霧氣觀察的長期性，選擇霧林帶的雪霸觀測站。				
	霧氣最常出現於四月與六月，因此依據2024年資料設定實驗條件：				
	<ul style="list-style-type: none">氣溫：空調設定16℃與18℃濕度：設定73%與86%，並以濕度計監控風速：關窗以模擬自然風（約0~1m/s) (表格由作者及指導教師整理取自中央氣象署CODIS氣候觀測資料查詢服務)				
實驗條件	臺灣山區常出現「逆溫」現象：夜間地表快速冷卻，冷空氣沉降至谷地，造成低處溫度低於高處。				
	<ul style="list-style-type: none">微風和夜間輻射冷卻：使用局部加熱和冷卻設備，模擬日夜溫差。模擬低谷和高地：利用多層容器設置實驗環境，讓冷空氣沉降到容器底部。				

實驗條件

臺灣山區常出現「逆溫」現象：夜間地表快速冷卻，冷空氣沉降至谷地，造成低處溫度低於高處。

- 微風和夜間輻射冷卻：使用局部加熱和冷卻設備，模擬日夜溫差。
- 模擬低谷和高地：利用多層容器設置實驗環境，讓冷空氣沉降到容器底部。

(表格由作者及指導教師親自繪製)



實驗結果與討論

- 從圖中可以看出：
- 圓弧凸起的凝結水量最高，特別是在低谷區域，霧水凝結效率最佳（1.03g）
 - 模擬低地環境在三種結構上，平均蒐集到的水量皆高於高地

實驗三

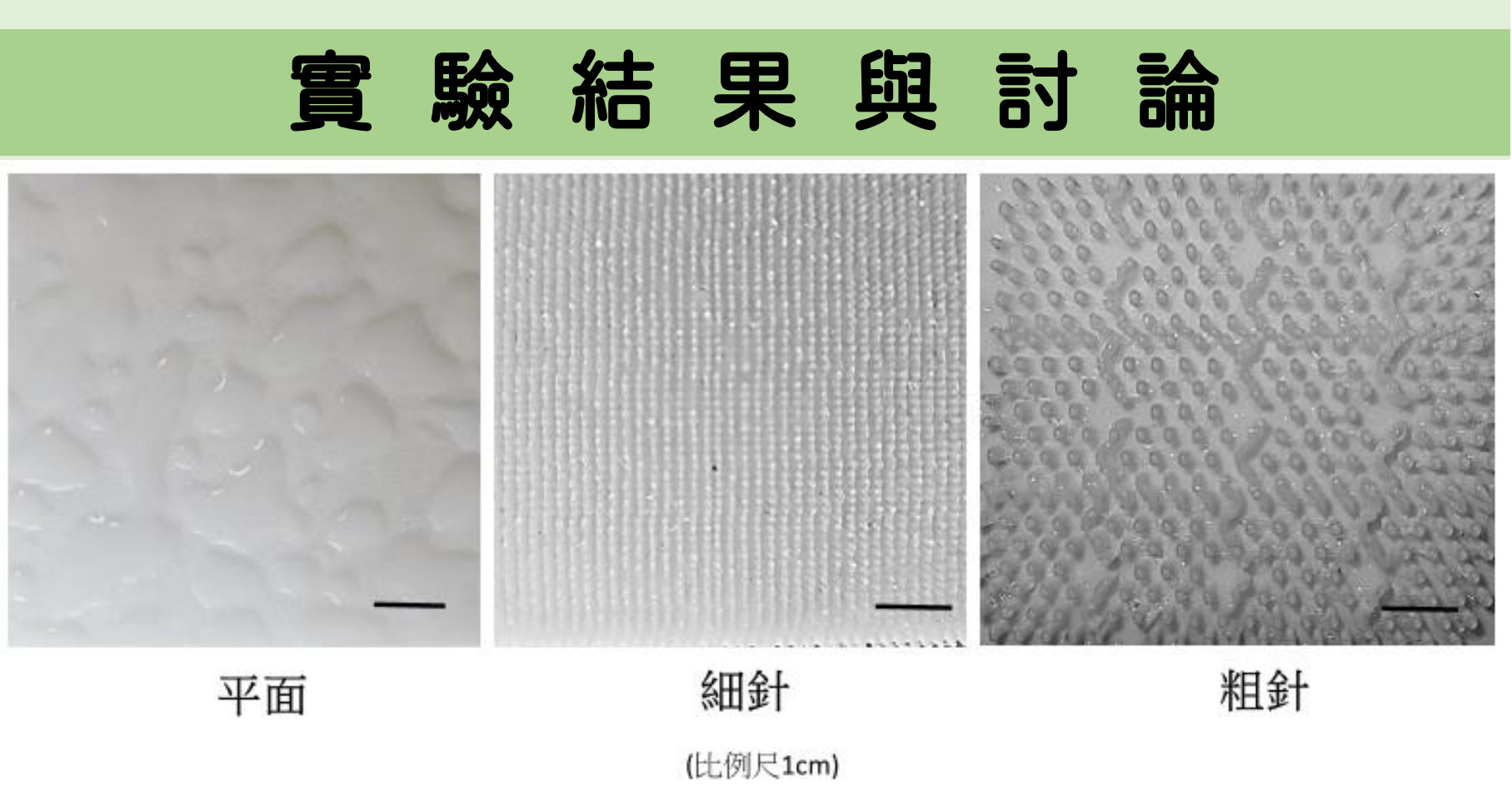
模仿仙人掌的尖刺，觀察霧水凝結的表現

研究構想	仙人掌細長的針狀結構能引導水滴沿著針尖流向根部，我們模仿其尖刺進行設計與觀察霧水凝結的表現。
實驗組：	尖刺結構板（粗針形、細針形表面） 對照組：平坦表面
變因條件	尖刺的粗細與間距 室溫27.9℃，加濕器濕度99%，2hrs

研究發現

比較不同粗細間隔尖刺度結構的水量差異						
測試組別	表面類型	針直徑 (mm)	蒐集水量 (ml)			平均水量 (ml)
			第一次	第二次	第三次	
對照組	平坦表面	0	0.05	0.04	0.05	0.05
實驗組	粗針形表面	1	0.04	0.04	0.04	0.04
實驗組	細針形表面	2	0.04	0.03	0.04	0.04

(表格由作者及指導教師親自繪製)



分析氣流與水滴的分布：水滴都凝結在針型的尖端，排與排的中間也沒有明顯凝結的水滴。對照組的平均水量較高（0.05毫升）。



實驗四

模擬新竹縣霧林帶氣候環境，觀察山區地形逆溫的霧水凝結表現

(圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切)	
產生溫差：鐵盤放熱水，冰塊盤放冰塊	滴管吸掉冷卻水，加入保溫瓶熱水，溫度維持55~65℃
溫濕度測量：實驗前在試管架放溫濕度計	加強照明-補光燈打光
模擬低谷：冰塊盤高度與板子相同	模擬高地：冰塊低於板子

實驗五、設計與實驗捕霧杯模型

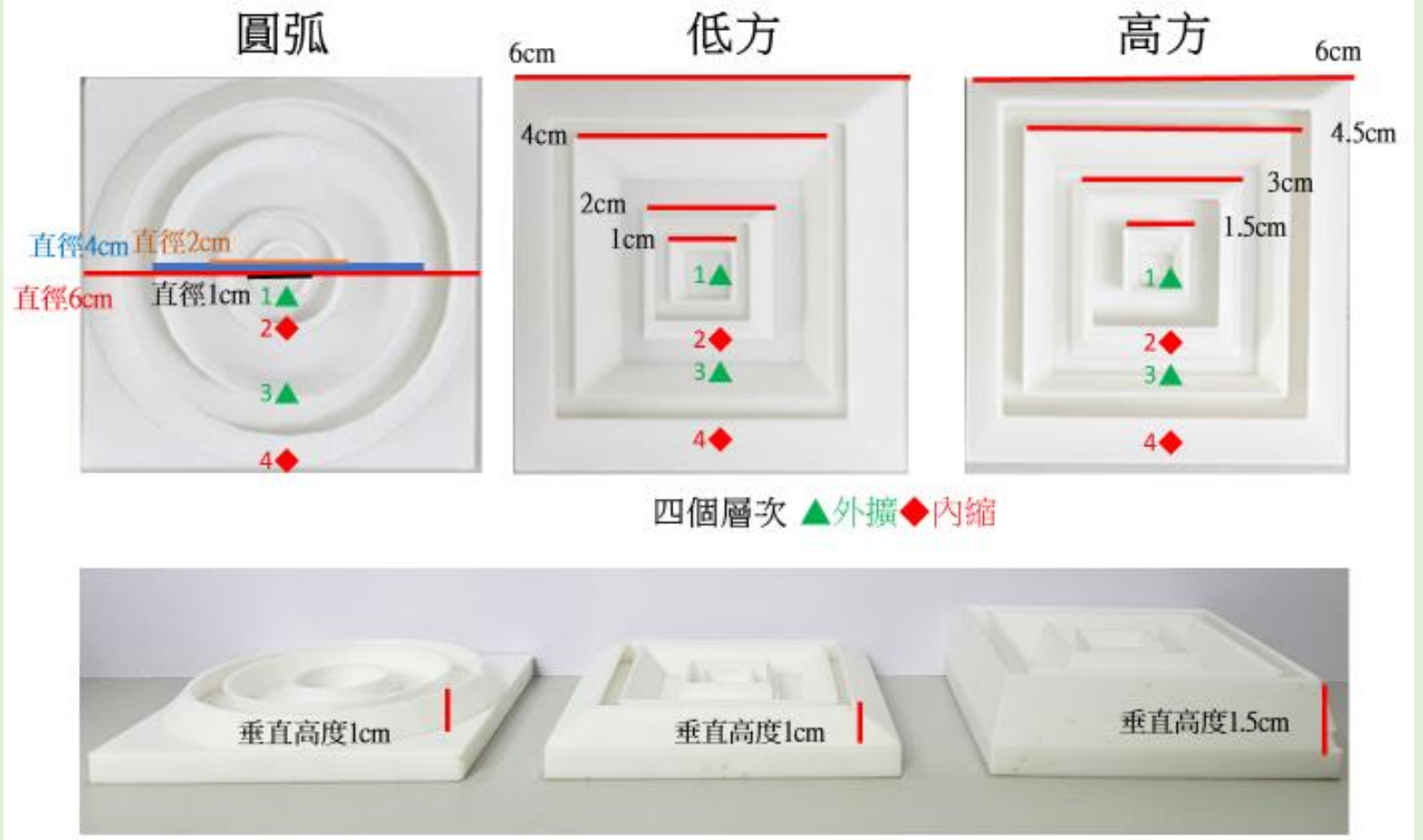
研究構想

從前述實驗最佳霧水凝結結果，設計一款具實用性的捕霧杯模型，提升霧水蒐集效率。

- 霧氣模擬條件：室溫25℃，濕度99%，2hrs

3D列印捕霧杯規格

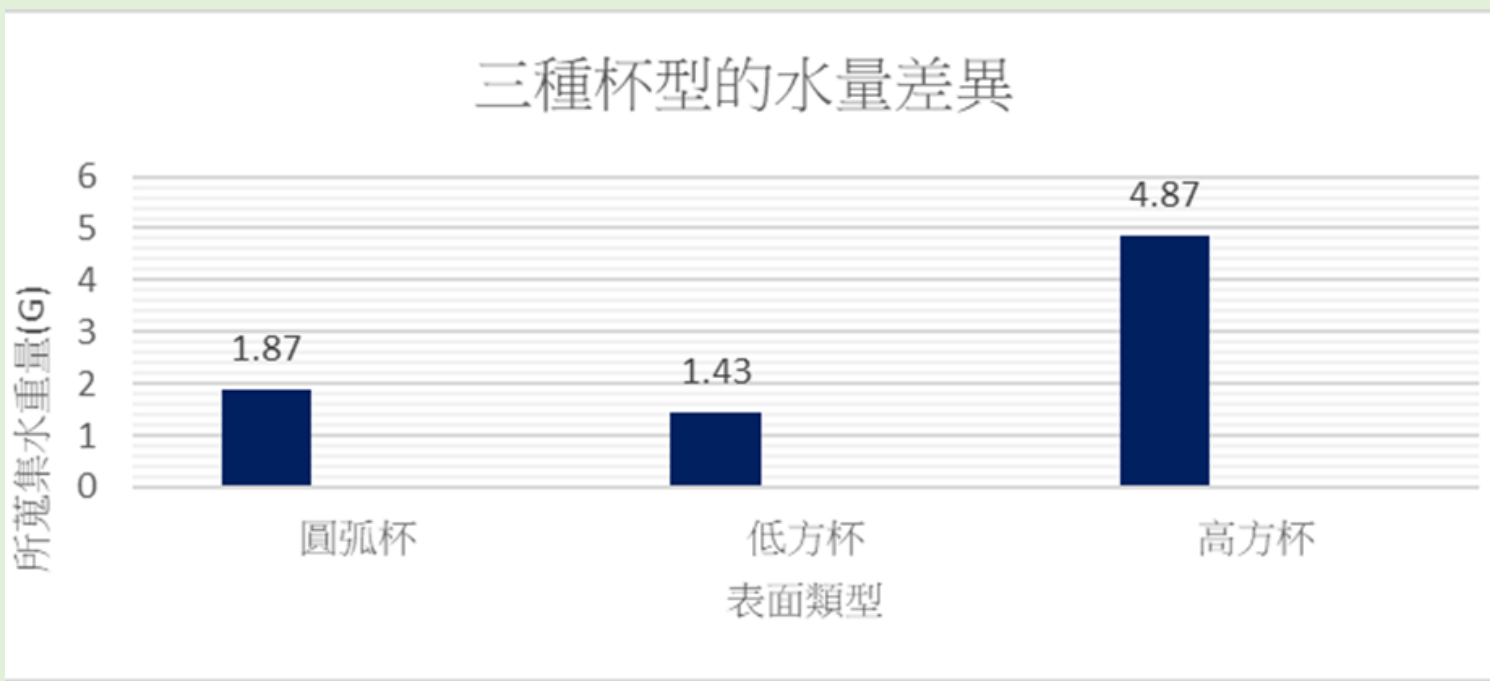
(圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切)



研究發現

表面類型	蒐集水量(ml)			平均水量 (ml)
	第一次	第二次	第三次	
圓弧杯	1.9	1.8	1.9	1.87
低方杯	1.8	1.8	1.7	1.43
高方杯	5.0	4.7	4.9	4.87

(表格由作者及指導教師親自繪製)

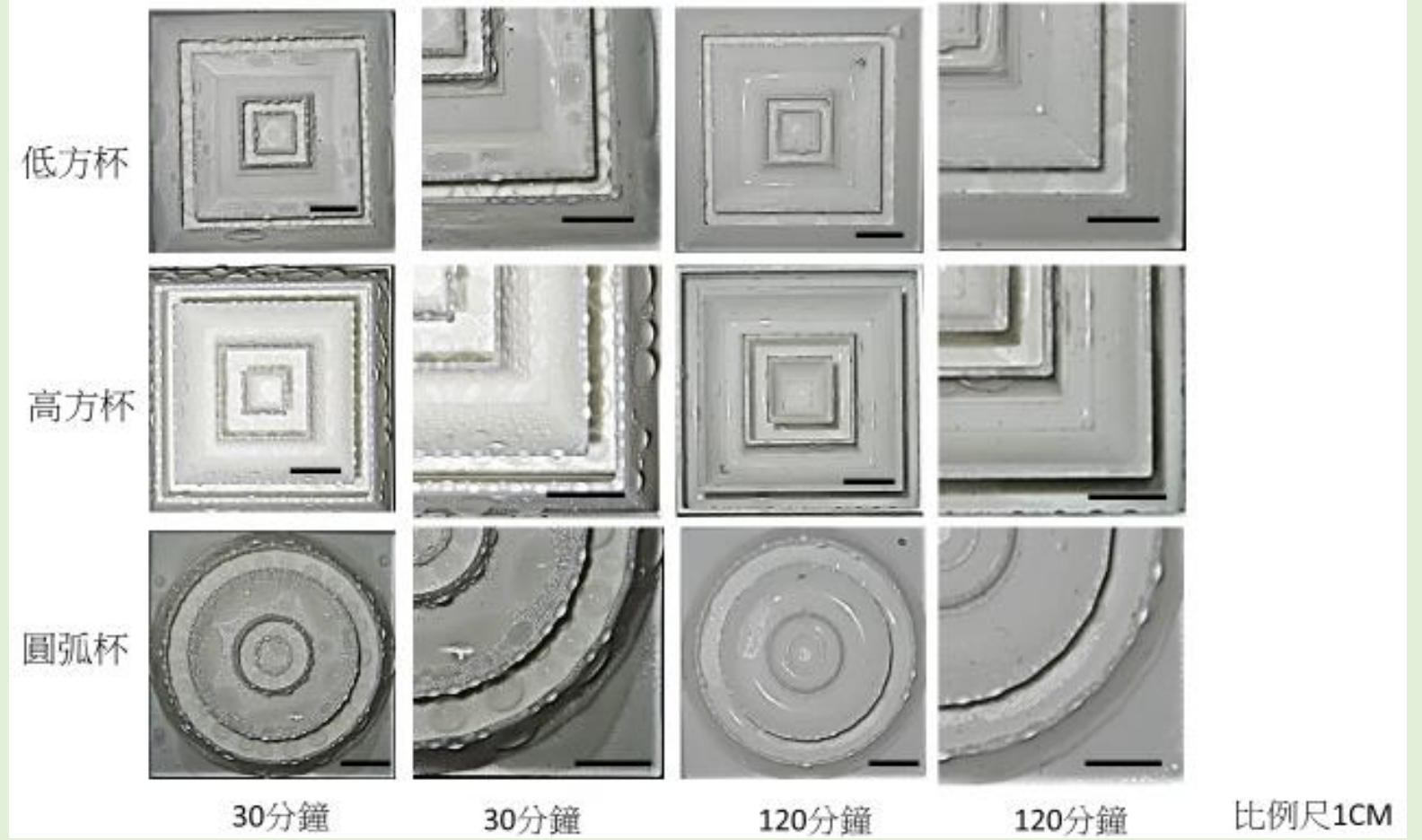


(圖片由作者及指導教師親自繪製)

實驗結果與討論

前半小時圓弧杯跟低方杯能有效誘導水滴滯留，高方杯僅能蒐集到較小的水滴，集水的效率較差。但兩小時後高方杯累積水量明顯高於另外兩種。

(圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切)



實驗六、進入臺灣不同海拔地區，觀察捕霧杯霧水凝結表現

研究構想

依據實驗五將捕霧杯製作完成，進入臺灣山林蒐集霧氣，觀察捕霧杯霧水凝結的表現。

踏查攜帶實驗箱



(圖片由作者及指導教師親自拍攝裁切)

器材設定及裝置

- 選擇濕度高且霧氣穩定的地點
- 確保放置的區域平穩，並遠離干擾物（例如：樹葉或其他遮擋物）
- 將不同結構的捕霧杯固定於相同高度

地點環境概覽-以大雪山為例

(圖片由作者及作者家長親自拍攝、GOOGLE地圖及手機經緯度擷取)



捕霧杯安裝與紀錄

(圖片由作者及作者家長親自拍攝)



環境場地照片

(圖片由作者及作者家長親自拍攝)



研究發現

總捕霧量紀錄：

我們整理環境條件，並將四種捕霧杯相加之總捕霧量紀錄結果如表：

不同捕霧杯型在各地點凝結水量比較

編號	地點	氣溫(℃)	風速(m/s)	濕度(%)	經緯度	總捕霧量(g)
1	陽明山冷水坑(740m)	16.6~19.9	5.7~4.1	57~99	經:121緯:25	32.70
2	卓蘭漁光中營區(490m)	17.5~15.4	0.8~1.9	73~99	經:120緯:24	0.20
3	大雪山國家森林遊樂區(2250m)	10.6~16.0	0.9~3.7	47~81	經:121緯:24	0.10
4	新竹五峰賓狗窩露營區(990m)	12.1	0.2	69	經:121緯:24	0.90
5	台南善化(20m)	19.6~19.2	2.6~9.1	57~49	經:120緯:23	0

結構	陽明山 (g)	卓蘭(g)	大雪山 (g)	五峰(g)	善化(g)	總量(g)
平面捕霧板	3.9	0	0	0.2	0.1	4.2
圓弧捕霧杯	7.6	0.1	0	0.2	0.2	8.1
低方捕霧杯	4.5	0	0	0.2	0.2	4.9
高方捕霧杯	16.7	0.1	0.1	0.2	0.4	17.5

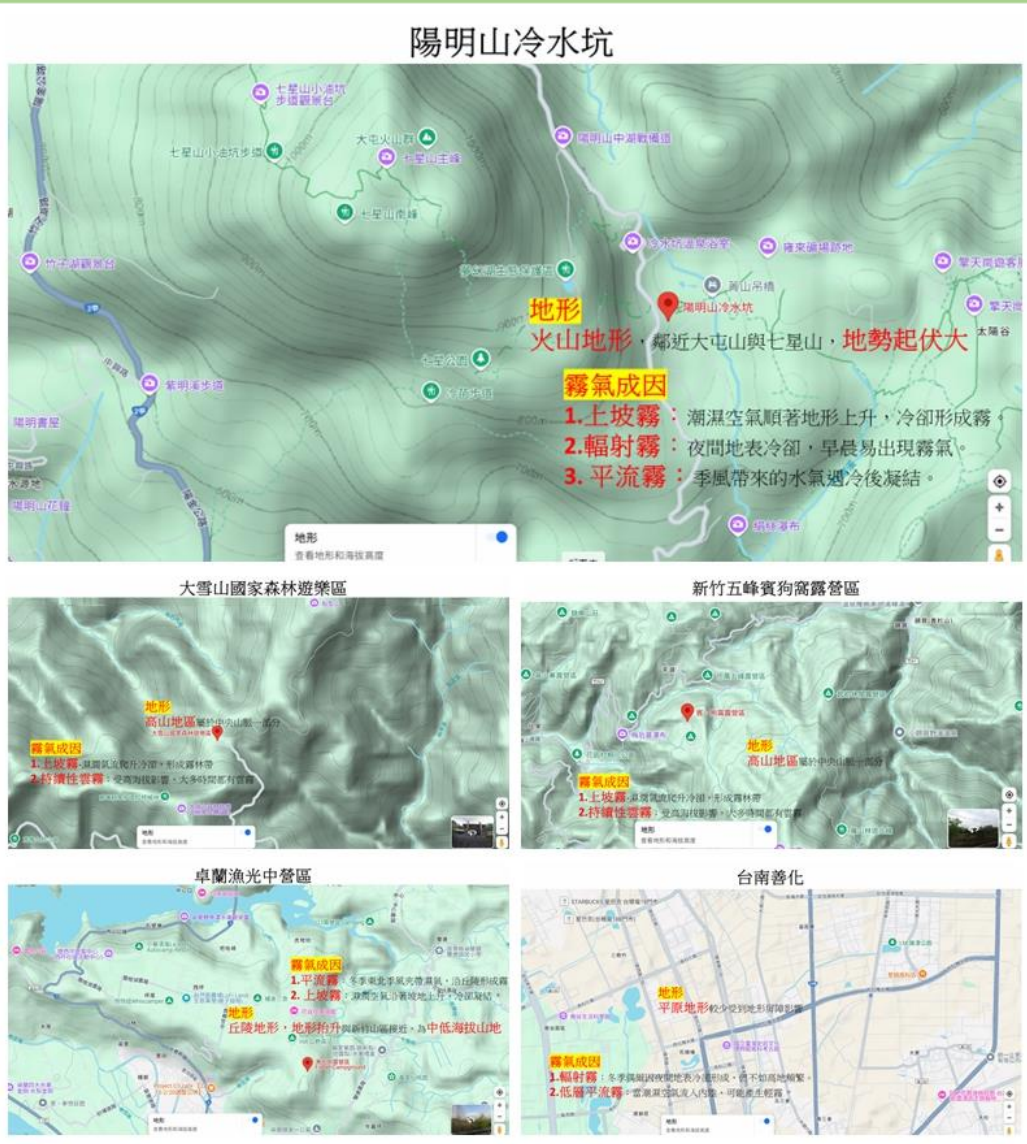
(表格由作者及指導教師親自繪製)

(表格由作者及指導教師親自繪製)

實驗結果與討論

地點	地形	霧氣成因
大雪山國家森林遊樂區 海拔2250m	高山地區	上坡霧：濕潤氣流爬升冷卻，形成霧林帶 持續性雲霧：受高海拔影響，大多時間都有雲霧
新竹五峰賓狗窩露營區 海拔990m	高山地區	上坡霧：濕潤氣流爬升冷卻，形成霧林帶 持續性雲霧：受高海拔影響，大多時間都有雲霧
陽明山冷水坑 海拔740m	火山地形 地形起伏大	上坡霧：潮濕空氣順著地形上升，冷卻形成霧 輻射霧：夜間地表冷卻，早晨易出現霧氣 平流霧：季風帶來的水氣遇冷後凝結
卓蘭漁光中營區 海拔490m	丘陵地形 地形抬升 中低海拔山地	平流霧：冬季東北季風夾帶濕氣，沿丘陵形成 上坡霧：濕潤空氣沿著坡地上升，冷卻凝結
台南善化 海拔20m	平原地形	輻射霧：冬季偶因夜間地表冷卻形成，但不如高地頻繁 低層平流霧：當潮濕空氣流入內陸，可能產生輕霧

(表格由作者及指導教師親自繪製)



(圖片由作者及指導教師親自擷取google app裁切)

- 高海拔的捕霧效果最佳：陽明山
- 圓弧與高方捕霧杯效率較佳：在高濕度環境（如陽明山），這兩款結構可誘導水滴更快地匯聚。
- 低海拔與低濕度地區捕霧效果極差：如台南善化，受限於濕度低，幾乎無法凝結霧水。
- 風速影響：過高風速可能將凝結的水滴吹散，而低方捕霧杯在適中風速下能有效維持霧水滯留。

結論

- 圓弧凸起提升集水效率
模仿沙漠甲蟲設計，大直徑圓弧凝結面積大，優於小直徑圓弧。
- 六角凹槽有助水滴滯留
蜂巢式凹槽以6mm深度表現最佳，優於較淺設計。
- 尖刺結構集水效果最差
無法有效導引氣流與凝結，集水量不如平面結構。
- 低地凝結效率較高
在新竹山區模擬中，圓弧結構於低谷集水最多，整體皆優於高地。
- 環境條件的影響：
 - 海拔非主因：中海拔冷水坑（740m）效果遠優於高海拔大雪山（2250m），顯示高海拔不必然有較好捕霧效果。
 - 濕度最關鍵：>90%時效果最佳（冷水坑99%）；<70%時幾乎無法有效捕霧。
 - 風速適中佳：風速過高或不穩定會降低效率。

最佳捕霧杯設計與應用

在教室模擬實驗中，剛開始高方形凹槽設計匯集水滴較小，但兩小時後總累積水量明顯高於圓弧與低方杯，且相差4g。

實地踏查中，圓弧凹槽的捕霧杯在高濕度環境下表現最佳，能有效誘導水滴聚集。方形凹槽在風速適中時有良好的水滴滯留能力，可提升霧水蒐集量。

根據不同環境條件，可選擇不同表面設計，以最大化霧水蒐集效率。

我們發現：

- 環境條件是影響捕霧效率的關鍵：濕度與風速
- 捕霧杯設計需針對不同環境進行優化：高濕地區選用圓弧凸起，風速適中地區則適合凹槽設計。
- 低海拔與低濕度地區不適合進行捕霧，應尋找替代水源方式。