

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030503

探網取霧－影響捕霧網集水特性之探討與應用

學校名稱：新竹市立光武國民中學

作者： 國二 段奕鳴 國二 李承穎 國二 王子宸	指導老師： 陳志如 林書瑩
---	-----------------------------

關鍵詞：捕霧網、集霧環境、集水過程

得獎感言

回首科展之路

全國科展，是一個充滿想像、創意與挑戰的殿堂。過去參觀科展，總是覺得那些作品和他們背後的作者，都像是在遙不可及的世界，但這次居然有機會戴著作者證走入會場，甚至是還能在此發表得獎感言。直到現在看來，那段時光還是恍如夢境。

來參加全國科展前，真的是沒怎麼想過有獲獎的可能，畢竟當初從市科展出線就已經是驚訝萬分，來參加全國展只是想說當作一次難得的體驗機會。在觀摩其他代表全台各縣市的作品後，更是覺得每一組都很不簡單，有的是題目新穎創意，有的是獨特卻實用，有的不論深度、完整度都不在話下。但是這也讓我們得以拓展眼界、增廣見聞，發覺到自己的不足之處，能學習到其他人的優點，實在是一次很難得的體驗。

回憶起整個科展的過程，一開始因為學校專題課程開始發想研究，期間數次想放棄題目，但是在老師的鼓勵下，還是跌跌撞撞地開始設計實驗。首先的實驗裝置就讓我們吃足了苦頭，因為市面上的噴霧器不符實驗所需，所以只好自行設計製霧箱，期間不知有多少的日子來往於各間五金行和電子材料行間，挑選適合的零件。經過無數次的改良後終於成功製造出大量霧氣，興奮的開始實驗，卻又發現實驗所需的網子、架設的器材的問題又接踵而至。我們常常都成為實驗室裡最晚離開的組別，後來甚至連六日還是到學校趕進度。過程中雖然吃的很多苦，但事後來看，留下的大多是美好的記憶。

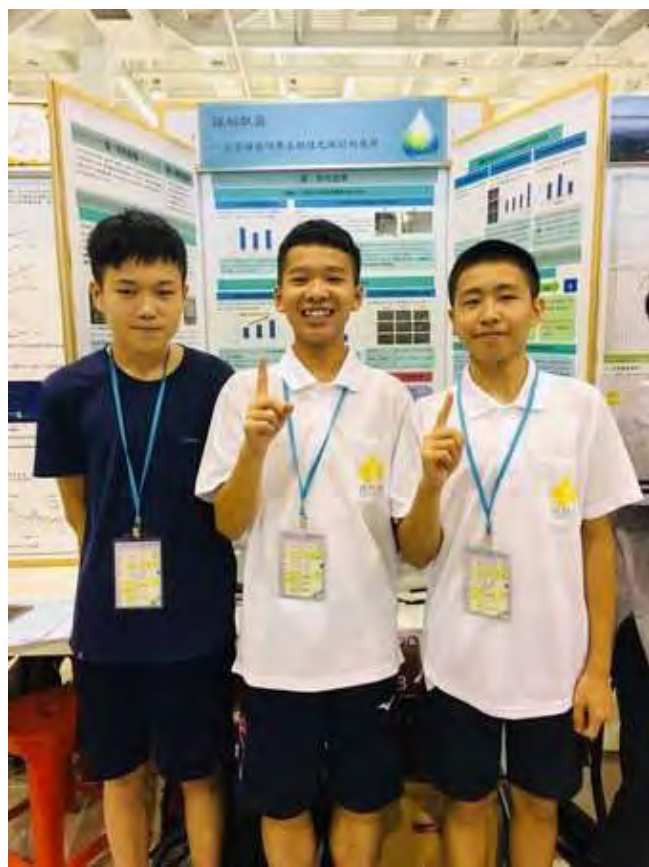
參加科展收穫的不僅是名次，除了得到課本外的專業知識，更有意義的是訓練獨立思考的能力。一年多的專題生活裡，最需要的是熱忱，有一顆對自己的作品抱有期待、能堅持下去的決心。我們經常是累到想放棄，常常會想為什麼其他人都不用做這些事，但是在經過努力後，回首看那些失敗、失望，才發現因為有那些過程，讓成果顯得更加感動，也不禁讓我們覺得這一切都是值得的。

如果未來還有機會參加科展，那我們會給自己的建議是要詳讀文獻資料，再來就是要妥善利用和珍惜時間。我們也深切地感受到能維持團隊合作的重要，因為每個人都有不同的長處，幸好組員間可以相互截長補短，齊心協力。另外很多看起來再簡單不過的事，也需要及早動手實踐，才能發現到實際的問題。

能順利完成此次科展，要感謝許多人的幫助。首先要感謝指導老師，在我們不知何去何從時為我們指點迷津。另外校長、學校的其他老師也幫助我們很多，不時給予一些獨到寶貴的見解。最後要謝謝家長，在這一路上一直支持和包容我們。這次科展能夠有一個完美的句點，真的是非常幸運!相信這些收穫絕對是終身受用的。



展場合照。



布展完組員在看板前合影。



在實驗室內進行研究的過程。

摘要

我們好奇影響捕霧網集水過程因素為何?使用超音波霧化器搭配風扇模擬霧氣，在壓克力箱中放置捕霧網進行實驗。秤量製霧箱所消耗的水，配合捕霧網集得的水量，即可得回收率。實驗結果為①三種不同材質網子中，疏水性高的不鏽鋼網回收率較佳。②不同網目單一網孔最短邊長度大於 0.5mm 時，網目多會增加回收率：24 目較 16 目高出 6.7%；網孔過小，會降低回收率，複雜編織的針織遮光網亦相似。③長形的網孔或複雜編織的網子，架設方向會影響集水效果。垂直向長度大於水平向，有利水珠滑落，能提升集水效果，最高可增加約 5%。④使用疏水塗料塗佈在垂直向的網線上，間距 2.7mm，可提升 7.5%的回收率。高集水效能捕霧網具備吸附霧氣多、水珠增長時間短及滑落速度快的特性。

壹、研究動機

有一次我們看到了一段新聞，是在報導世界上某些缺乏水資源的地區會用「捕霧網」收集霧氣，利用取得的水改善缺水的困境。看到捕霧網架設在雲霧繚繞的山坡上的照片，讓我們想到除了使用捕霧網的氣候環境，霧氣的集取是否也與網子本身的性質相關？於是我們開始進行以下研究。

貳、研究目的

- 一、探討不同材質捕霧網的集水特性
- 二、探討不同網目數捕霧網的集水特性
- 三、探討針織遮光網的集水特性
- 四、探討捕霧網不同架設方向的集水特性
- 五、探討應用疏水塗料對捕霧網的集水差異

參、研究設備及器材

一、實驗器材

1. 透明塑膠整理箱(長 29.8cm,寬:19.8cm,高 13.5cm)，長型保鮮盒(PP,長 31.0cm,寬 21.5cm,高 22.1cm)，壓克力箱(長 60cm,寬 30.5cm,高 30.5cm,兩端開口)
2. 壓克力盒(長 23.5cm,寬 7.0cm,高 3.0cm)，長塑膠盒(長 21.1cm,寬 4.6cm,高 2.2cm)
3. 粗塑膠排水伸縮管(內徑 2.90cm,外徑 3.46cm)，細塑膠排水伸縮管(內徑 2.65cm,外徑 3.28cm)，PVC 塑膠板，厚保麗龍板
4. 鋁框窗(寬 29.5cm,高 29.3cm,厚 1.4cm,兩邊窗框分別寬 4.8cm、2.6cm)
5. 超音波造霧器(霧化片直徑 20mm,霧化量 550ml/h 振動頻率 1.65MHz)、壓力噴瓶(300ml)
6. 防水電子秤(2000g/0.1g)，電子秤(500g/0.01g)，自動磅秤(36kg/0.1kg)，微量滴管(可量測範圍 10-100 μ L)，風速計(測量範圍 0-30m/s,解析度 0.2m/s)，USB 數位顯微鏡(UPG650)
7. 散熱風扇 1(Sanyo Danki 9WS0812H401,轉速 3100RPM,風量 0.94 m³/min,風壓 4.597mmH₂O)，散熱風扇 2(AVC 2B08038_12H,轉速 7000RPM,風量 2.86m³/min,風壓 31.9mmH₂O)
8. 數位相機，手機
9. 防水噴劑(Asahipen AP9016442,300ml,成分:氟樹脂、矽利康樹脂、碳水化合物、乙醇)
10. 軟體 Tracker，Free Video to JPG Converter，MicroViewer-5MP
11. 紗窗壓條(直徑 4.5mm)，紗窗用壓繩車
12. 冰棒棍，長尾夾，熱熔膠槍，方格紙，吹風機，游標尺，長尺，有色膠帶，水彩刷筆
13. 網子(目數為購買時名稱)：針織遮光網 50%、60%、70%、80%各一捲
不鏽鋼紗網 16 目、20 目、24 目各一捲
塑膠牛筋網 16 目一捲
尼龍鐵絲網 16 目一捲
透明尼龍紗網 60 目、80 目、100 目、120 目各一捲

二、實驗使用網子介紹


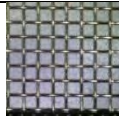






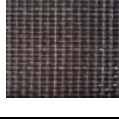
(一)網孔大小

市面上購得的網子中，網孔大小、密度是以網目數或是用遮蔽率計算。查詢資料後得知網目代表的是在篩網上 1 英吋長度內的篩孔數目，而遮蔽率代表該網所遮蔽光線的百分比。網目或遮蔽率愈大，代表網子上每一個網孔愈小，單位面積內網孔數愈多。

但是在實際測量後發現所得到的網孔數與購買時標示的目數並不相符，而且在不同商家處取得標示目數相同的網子所測得的網孔數也不完全相同，以致無法直接以標示的網目做比對，於是我們重新量測網目數。我們以方格紙墊在網子下，將網子平整攤開後數取在單位長度(一英吋)中兩方向的網孔格數，結果如表 3-2-1。

在網子中隨機抽取出網線，使用游標尺測量直徑後取平均，在計算網孔大小時將線徑所佔的部分扣除。

表 3-2-1 網子自訂規格表

名稱	材質	水平*垂直向 格數(每英寸)	網線 直徑	每一網孔中水平向 *垂直向邊長	示意照片 (取 1cm*1cm)
不鏽鋼網 16 目	304 不鏽鋼	16.1*16.1	0.30mm	1.280mm*1.280mm	
不鏽鋼網 20 目	304 不鏽鋼	20.3*19.5	0.15mm	1.103mm*1.156mm	
不鏽鋼網 24 目	304 不鏽鋼	24.6*23.7	0.25mm	0.789mm*0.829mm	
尼龍鐵絲網 16 目	鐵絲(內) +PVC(外)	15.2*13.5	0.35mm	1.326mm*1.544mm	
塑膠牛筋網 16 目	PET	15.2*13.5	0.40mm	1.276mm*1.496mm	
透明尼龍紗網 22 目(60 目) ^{註 1}	PE	22.0*18.6	0.25mm	0.916mm*1.124mm	
透明尼龍紗網 44 目(80 目) ^{註 1}	PE	44.9*27.1	0.05mm	0.517mm*0.887mm	
透明尼龍紗網 52 目(100 目) ^{註 1}	PE	52.5*35.6	0.10mm	0.385mm*0.615mm	
透明尼龍紗網 60 目(120 目) ^{註 1}	PE	59.0*36.0	0.10mm	0.332mm*0.608mm	

註 1:此尼龍紗網的網目數是以自行測得的長邊網孔數配合網路資料標準篩網的規格表所定，括號中的網目數為購買時商家所標示之網目

而以遮蔽率表示的針織遮光網(百吉網)表面編織的方式較為複雜，水平與垂直兩方向網面的線條排列性質差異較大，且網格形狀較不規則，所以我們將其獨立分出比較。

百吉網的網格結構大致為一個鎖鍊狀的圈，往下則分別是不同的角度的斜、直線，而四周都是這個基本架構的延伸，將此一基本架構稱為一網格。

我們將水平向的針數以一個圈視為一針(藍線)，垂直向以一個鎖鍊狀的圈圈及斜直線視為一排(紅線)，如圖 3-2-1。以藍線作為水平向邊長，紅線作為垂直向邊長。以此方法來表示不同遮蔽率的遮光網網格大小。

圖 3-2-1 針織遮光網第一代結構示意圖

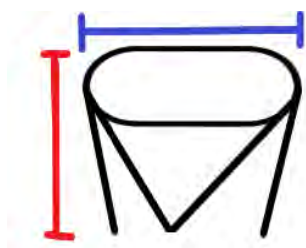


表 3-2-2 針織遮光網自訂規格

網子名稱	材質	每一網格中水平方向 *垂直方向邊長	示意照片 (取 1.85cm*1.55cm)
針織遮光網 50%	HDPE	2.0mm*3.6mm	
針織遮光網 60%	HDPE	1.7mm*3.6mm	
針織遮光網 70%	HDPE	1.8mm*2.3mm	
針織遮光網 80%	HDPE	1.6mm*2.5mm	

三、實驗裝置

(一)集霧實驗裝置介紹

實驗裝置主要分成三大部分，分別為製霧箱、集霧箱、捕霧網，大致介紹如下：

1.製霧箱

製霧箱裝置有 2 代：

(1) 第一代(圖 3-3-1):

以塑膠整理箱(30cm*20cm*13cm)為外箱，在內靠箱壁處放置五顆超音波霧化器。箱蓋上挖直徑 7.9cm 大小的圓形孔洞，以泡棉膠固定風扇。距離風扇 18cm 處平行挖三個直徑 3.6cm 的圓孔，塞入直徑 3.2cm 的細塑膠管。

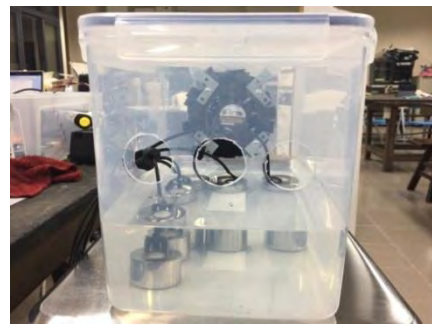
(2) 第二代(圖 3-3-2):

以長透明塑膠盒(21cm*4cm*2cm)為外箱，在箱內置中對稱放置五顆超音波霧化器。後端挖直徑 7.5cm 的圓形孔洞作為風扇出風口，以 L 型扁平直角托架與螺絲固定風扇，增加夾具接觸面積以避免受力集中於一點，導致塑膠必無法承受而裂開。盒子側面割開三孔作為出霧口。

圖 3-3-1 第一代製霧箱



圖 3-3-2 第二代製霧箱



2.集霧箱

使用兩端開口的透明壓克力箱(長 60cm、寬 30.5cm、高 30.5cm、厚度 0.5cm)，在箱子後側開口以 PVC 塑膠板封閉。再箱上標示出出霧口位置，以及距離出霧口每隔 10 公分做一標記，共 40 公分。如圖 3-3-3、3-3-4。

圖 3-3-3 集霧箱側面圖

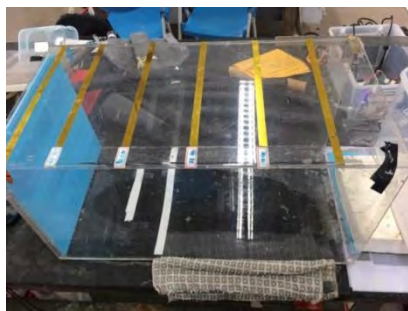


圖 3-3-4 集霧箱俯視圖



3.捕霧網架

捕霧網架有 2 代:

(1) 第一代(圖 3-3-5):

以熱熔膠黏合冰棒棍，組合成框架(29.5 公分寬,28 公分高,0.8 公分厚)，直立擺放於箱中標記距離處。

(2) 第二代(圖 3-3-6):

訂製鋁質窗框(寬 29.5cm,高 29.3cm,厚 1.4cm)，內部面積寬 21.5cm、高 19.0cm。用壓條將網子固定在鋁框溝槽中，裁剪下多出的部分。下方割除 5cm 高的網面，以放入集水盒。

圖 3-3-5 第一代網架

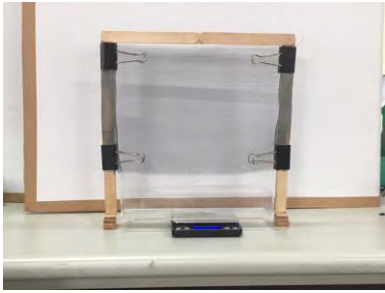


圖 3-3-6 第二代網架



(二)集霧實驗設計

1. 距離

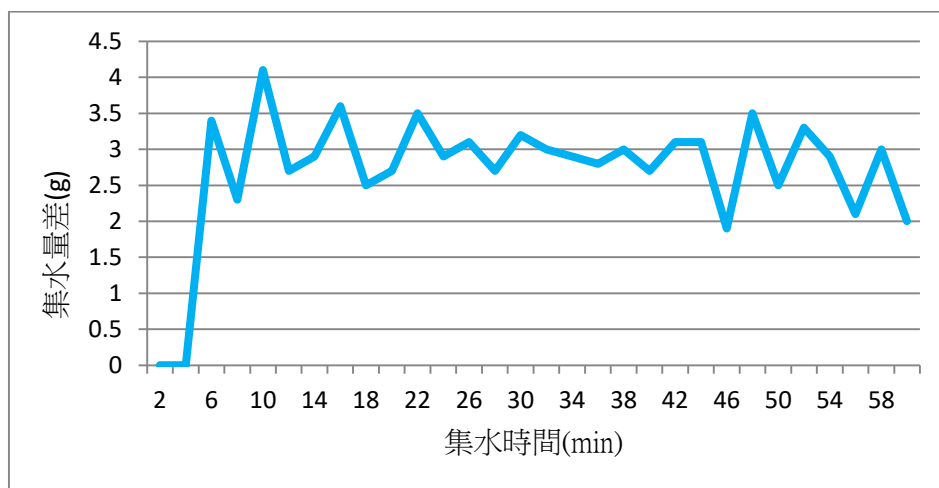
我們試進行距離出霧口 10、20、30 公分處的集水測試。在其中觀察到距離近時，較容易直接被在噴管中附著的水滴噴濺到網面以及集水盒當中。我們認為此狀況會影響到集水，因此我們決定將網子固定於距離出霧管口 30 公分處。

2. 時間

我們將 24 目的不鏽鋼網架設在集霧裝置箱中距離出霧管 30 公分處進行集水，每 2 分鐘記錄一次，並且將所得的數據減去 2 分鐘前的上一筆數據，得到每 2 分鐘間所增加的集水量，共 60 分鐘。結果如圖 3-3-7。

我們發現在大約 15~45 分鐘間的集水量變化較為穩定，為兼顧時間效益，我們將實驗時間固定為集水 30 分鐘。

圖 3-3-7 每 2 分鐘集水量差異變化圖



(三)集霧實驗環境

1. 風速

(1) 第一代製霧箱搭配風扇 1:

轉速為風扇 1 最大值(3100RPM)時，分別在距離噴霧管口 10cm、20cm、30cm 使用風速計測量風速，結果如表 3-3-1

(2) 第二代製霧箱搭配風扇 2:

我們使用調整風扇 2(AVC 2B08038_12H)的轉速設定(裝置如圖 3-3-8)，並且測量在 1000RPM 到 7000RPM 轉速下，裝置箱中距離出霧口(出風口)30 公分處的風速，所得結果為表 3-3-2。

在捕霧網架設處可調整的風速範圍約為 1.0m/s~4.1m/s。但是我們發現當風速約大於 2.6m/s 時，容易濺起製霧箱水面，導致製霧狀況不穩定。因此我們將風扇轉速設定在約 3000 轉，也就是在裝置中距離 30 公分處的風速約為 1.5m/s。

圖 3-3-8 風扇轉速控制裝置

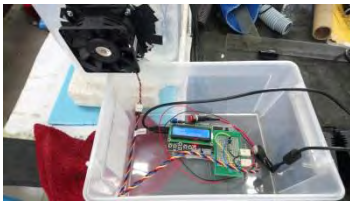


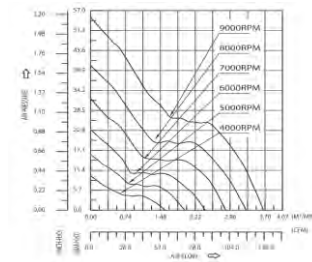
表 3-3-2 風扇 AVC2B08038_12H 不同轉速對應風速

風扇轉速(約)	風速(30 公分處)
1000	0m/s
2000	1.2m/s
3000	1.5m/s
4000	2.2m/s
5000	2.8m/s
6000	3.6m/s
7000	4.0m/s

表 3-3-1 風扇 Sanyo Danki 9WS0812H401 不同測量距離對應風速

距離出霧管口距離	風速
10cm	2.4m/s
20cm	2.1m/s
30cm	1.7m/s

圖 3-3-9 風扇 AVC2B08038_12H 之風量-風壓曲線



2. 霧量

在實驗中我們是使用振動頻率為 1.65MHz 的超音波霧化器來模擬自然界中的霧氣現象，經計算後得知此霧化器所製造的霧氣直徑大致為 $8 \mu m$ 。

我們固定製霧時間，測量實驗前後製霧箱裝置的水重差異，得到:

- (1) 第一代製霧箱每分鐘出霧量為 8~11g
- (2) 第二代製霧箱每分鐘出霧量約為 12.7~13.3g

(四)數據處理

1. 回收率

我們設計以下公式(圖 3-3-9)，計算回收率來表示捕霧實驗中的集水效果。實驗前後分別以磅秤測量製霧箱(圖 3-3-1、圖 3-3-2)重量(實驗前重 W_0 ，實驗後重 $W_{未}$)。實驗後則以電子秤測量集水盒重量並扣除集水盒淨重，即為集水量。

圖 3-3-9 回收率算式

$$\text{回收率} = \frac{\text{集水量}(g)}{W_0(g) - W_{未}(g)} * 100\%$$

肆、研究過程與結果

實驗一、探討不同材質捕霧網的集水特性

我們希望能夠瞭解在日常生活中可以取得的網子材質中，何者用來做為捕霧網面能有較好的集水效果，其又是受到哪些原因的影響，進行以下的實驗。

實驗一-1 不同材質網子的集水效率

我們取用了三種市售相同網目但材質不同的網子進行實驗，比較材質與集水效率的關係。

(一)實驗步驟:

1. 將 16 目的不鏽鋼網、塑膠牛筋網、尼龍鐵絲網固定於鋁框上(架設方式為實驗裝置介紹中的第二代捕霧網架)
2. 把捕霧網與集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱加水至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱噴霧，共集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量集水盒與製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-1-1 不同材質的 16 目網集水回收率

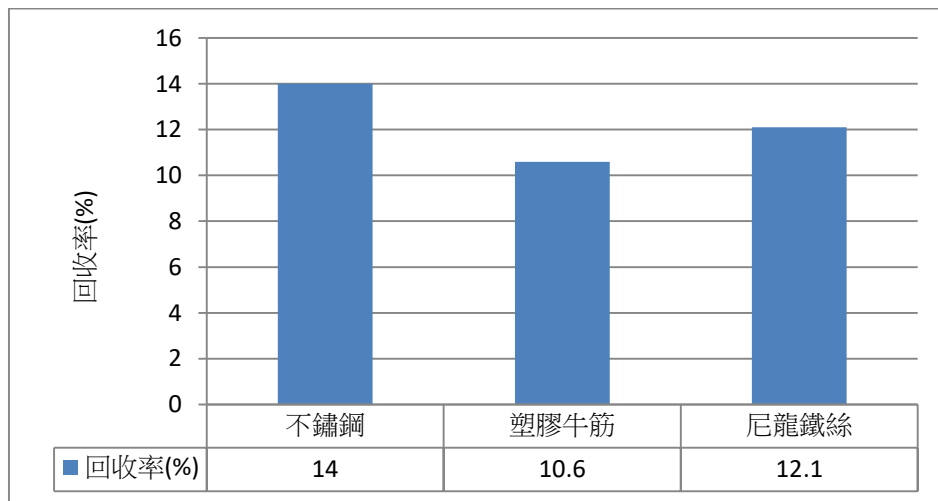


圖 4-1-1：回收率為不鏽鋼網最佳，塑膠牛筋網與尼龍鐵絲網相近

實驗一-2 水珠在不同材質網線上的滑落速度

在集水過程中，我們觀察到網面上水珠滑落至集水盒的速度有快有慢，認為這與材質的疏水性相關，於是設計水珠在線上滑落的實驗，測試不同材質網線的疏水性。

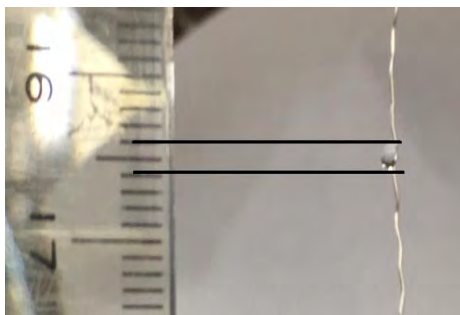
(一)實驗步驟:

1. 隨機取出 16 目的不鏽鋼網、塑膠牛筋網及尼龍鐵絲網的一條網線
2. 將網線拉直，用膠帶固定於桌面與地面之間(高 72.3cm)，使網線垂直於地面，並固定一把長尺在側
3. 以微量滴管滴取 5 微升的水珠於網線上(圖 4-1-2)
4. 用手機對準水珠正前方，拍攝水珠滑落的過程
5. 使用 Free Video to JPG Converter 將影片轉成照片，取水珠滑落 20 公分的總照片數
6. 將照片數量換算成時間，計算水珠的滑落速度，並測量每次水珠滑落的大小(圖 4-1-3)

圖 4-1-2 測量水珠滑落速度示意



圖 4-1-3 測量水珠大小示意圖



(二)實驗結果:

圖 4-1-4 網線上水珠大小與滑落速度關係圖

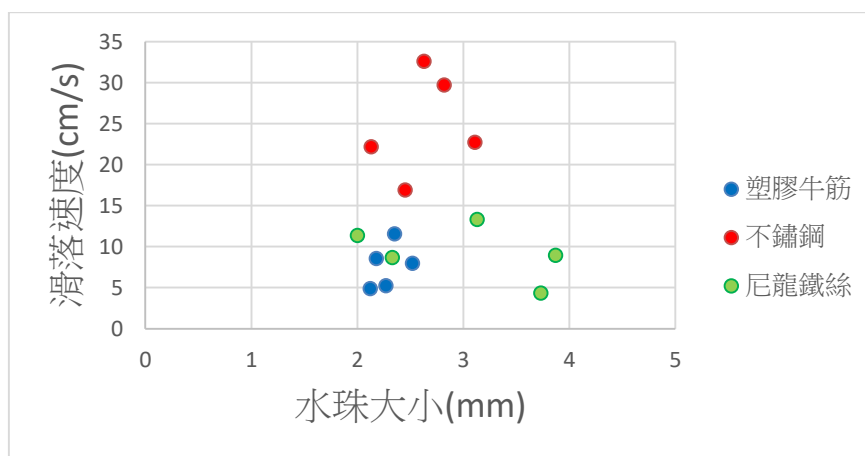


圖 4-1-4：水珠在不鏽鋼線上滑落速度最快、塑膠牛筋與尼龍鐵絲相近但較慢，差異近 15m/s

實驗一 討論與分析

1. 在實驗一-1 中(圖 4-1-1)，回收率為不鏽鋼網最佳，尼龍鐵絲網與塑膠牛筋網相近

2. 從實驗一-2 中(圖 4-1-4)，我們發現水珠在不鏽鋼網上滑落速度最快，而尼龍鐵絲網上及塑膠牛筋網上滑落速度相近。實驗一-2 是使用微量滴管量取 5 微升的水珠進行實驗，故水珠大小不同，可能為影片轉影像時，水珠大小略為模糊造成量測誤差，所以塑膠牛筋網與尼龍鐵絲網應為相近。
3. 在比較實驗一-1 和實驗一-2 可知，有較好疏水性的不鏽鋼網有較好的集水效果，可知材質疏水性是影響捕霧集水的重要因素之一。可是不鏽鋼網線的滑落速度可比另兩種材質高於兩倍，但回收率的增幅僅有 2%，觀察捕霧過程可見到水珠在網面上滑落情形是相當複雜，往下滑落的方向除了往下、有時亦會和相鄰兩側的水珠聚合，這過程會碰到水平向的網線及許多的交叉點，滑落模式比在直線上複雜，且疏水材質亦可能降低網面吸附霧氣能力。

實驗二、探討不同網目數捕霧網的集水特性

霧氣通過捕霧網面，被網線攔截後聚集滑落為捕霧網集水原理。我們欲確認網目數與集水關係，進行以下實驗。

實驗二-1 不同網目數不鏽鋼網的集水效率

(一)實驗步驟:

1. 將不鏽鋼網 16、20、24 目剪裁成 40*20 公分大小，並且用長尾夾夾在木質外框上
2. 把捕霧網與集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱加水至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱噴霧，共集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量集水盒與製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-2-1 不同網目數不鏽鋼網的回收率

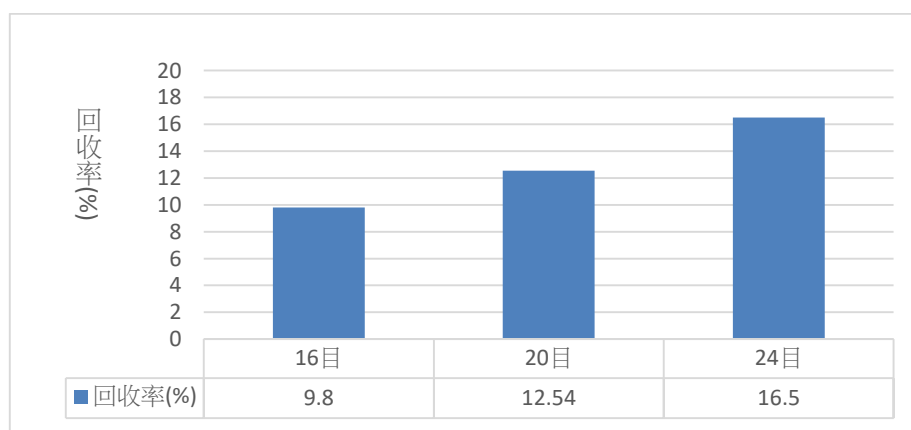


圖 4-2-1:不鏽鋼網回收率為 24 目>20 目>16 目

實驗二-2 不同網目透明尼龍紗網的集水特性

因為不鏽鋼網在市面上能夠購買到的網目數最大只到 24 目，我們想瞭解更多的網孔數是否有更好的集水效率。找到透明尼龍紗網有較多不同的網目數，使用其進行實驗。

(一)實驗步驟:

1. 將 22 目、44 目、52 目、60 目尼龍紗網剪裁成 40*20 公分大小，並且用長尾夾夾在木質外框上
2. 把捕霧網與集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱加水至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱噴霧，集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量集水盒與製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-2-2 不同網目尼龍紗網回收率

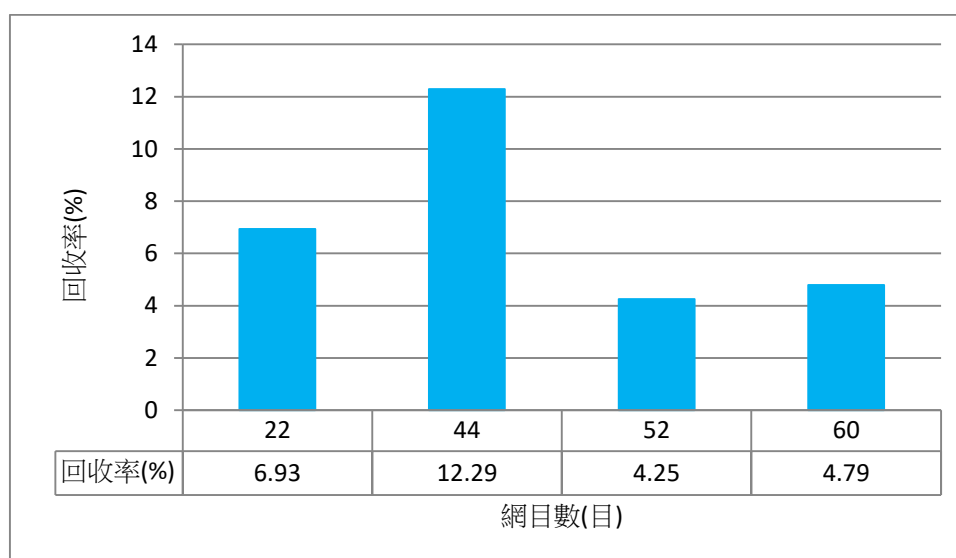


圖 4-2-2：透明尼龍紗網回收率以網目數 44 回收率最高，網目再增加後回收率下降。

實驗二-3 不同網目不鏽鋼網的集水過程

為了進一步的瞭解不同網目數的網子的集水過程，我們用噴瓶對網子噴水霧，透過固定距離和位置拍攝的方式，觀察每次噴水後，水霧在網面上攀附聚合的情形。

(一)實驗步驟:

1. 將不鏽鋼網 16、20、24 目固定於木質架上，直立放置於紙箱中
2. 將噴瓶裝滿水後置於距離網面 30 公分處
3. 按壓壓力瓶，將把柄按壓到底
4. 噴霧後拍攝照片，再重覆步驟 3，直到水珠滑落後停止

(二)實驗結果:

觀察照片後，將過程照片截切取其中 11.6mm*7.2mm 的大小，以方便觀察霧氣攀附聚合的過程，結果如表 4-2-1 及表 4-2-2

表 4-2-1 不同網目數不鏽鋼網表面水珠吸附聚合過程照片示意圖

噴水次數	1	2	3	4	5
16 目					
20 目					
24 目					

表 4-2-2 不同網目數不鏽鋼網表面水珠滑落時比較表

網目數	圖片	水珠滑落時的噴霧次數	說明
16 目		5	圖中滑落的水珠大小約占 6 格網格大，代表水珠聚合至 2.56mm*3.84mm 後滑落
20 目		4	圖中滑落的水珠大小約占 12 格網格大，代表水珠聚合至 4.412mm*3.468mm 後滑落
24 目		4	圖中滑落的水珠大小約占 16 格網格大，代表水珠聚合至 3.156mm*3.316mm 後滑落

實驗二 討論與分析

1. 在實驗二-1 中，得知不同網目數的回收率是 16 目(9.8%)<20 目(12.5%)<24 目(16.5%)，網目數增多，集水效率增加，可增加 6.7%。網目數多代表單位面積中網線交叉處增加且網線占網面面積比例增加，所以單位時間能攔截較多的霧氣吸附在網線上，因而有較好的集水效果。
2. 而實驗二-2 透明尼龍紗網的集水回收率為：44 目(12.3%)>22 目(6.9%)>52 目(4.8%)>60 目(4.35)，顯示增加更多的網目數，集水效果不增反降。
3. 實驗二-3，在表 4-2-1 可看到對 16、20 及 24 目的不鏽鋼網噴水一次後，皆可見霧氣在網線上攀附，且易在網線交叉處吸聚成直徑約 0.4~0.6mm 的小水珠；再繼續噴水後，看到直徑 0.4mm~0.6mm 的小水珠能快速地和鄰近相近大小的水珠聚合成大水珠，直到直徑增加至約 2.5mm~3.5mm 的大小後，重量能克服網線的附著力後便開始滑落。
4. 再次檢視不同網目數的網子，將其每一網孔的邊長列於表 4-2-3

表 4-2-3 不同網目的單一網孔較短邊排序表

網孔大小 (大→小)	不鏽鋼網 16 目	不鏽鋼網 20 目	不鏽鋼網 24 目	白尼龍紗 網 22 目	白尼龍紗 網 44 目	白尼龍紗 網 52 目	白尼龍紗 網 60 目
水平向邊長	1.280mm	1.103mm	0.789mm	0.916mm	0.517mm	0.385mm	0.332mm
*垂直向邊長	*1.280mm	*1.156mm	*0.829mm	*1.124mm	*0.887mm	*0.615mm	*0.608mm

同種材質網目數與回收率成正相關 ← → 目數增加回收率變差

可看到透明尼龍紗網 44 目的網孔最小邊長為 0.517mm，而捕霧網目數改為 52 目後的集水回收率下降，52 目的網孔最小邊長為 0.385mm。綜合 3、4 點討論，我們認為網目變大，雖然單位時間能攔截較多的霧氣，但是其每一網孔的最短邊長卻防礙了霧氣吸聚成直徑 0.4~0.6mm 的小水珠，而且小水珠之間也因網線的阻隔，難聚合成大水珠。若是網面上有許多水珠不能滑落，水會擋住網線對霧氣的吸附，造成集水效果變差。

實驗三、探討針織遮光網的集水特性

在先前捕霧網集水的研究中，多是利用遮光網(黑色遮蔭網)進行測試。我們推測它的結構可以增加霧氣經過網面的接觸面積，且此類網子常見也好取得。為瞭解針織遮光網集水特性，進行以下相關實驗。

實驗三-1 不同遮蔽率針織遮光網集水特性

(一)實驗步驟:

1. 將 50%、60%、70%、80%遮蔽率的針織遮光網剪裁成 40*20 公分大小，用長尾夾夾在木質外框上
2. 把捕霧網與集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱加水至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱噴霧，共集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量集水盒與製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-3-1 不同遮蔽率針織遮光網的集水回收率

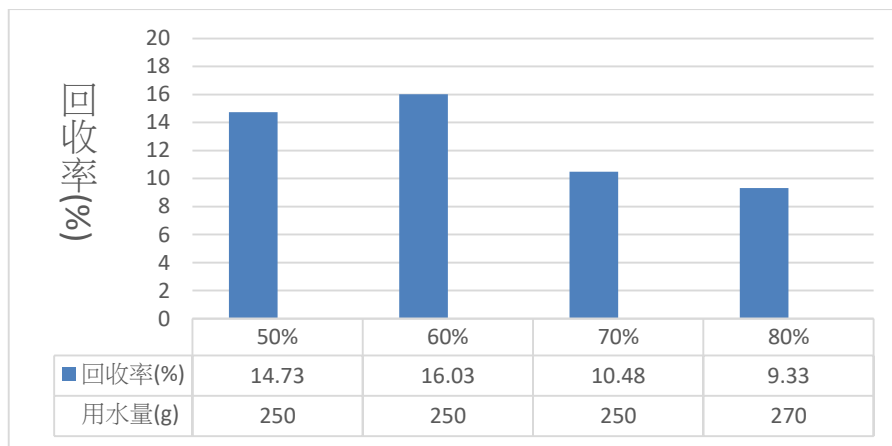


圖 4-3-1：遮蔽率<60%，遮蔽率高有較高的回收率；遮蔽率增加至 70%，回收率下降

實驗三-2 不同遮蔽率針織遮光網的集水過程





(一)實驗步驟:

1. 將遮蔽率 50%、60%、70%、80%針織遮光網固定於木質框架上，直立放置於紙箱中
2. 將噴瓶裝滿水後置於距離網面 30 公分處，噴口垂直對向網面
3. 將相機固定於腳架上，對準網面中央
4. 按壓噴瓶，將把柄按壓到底
5. 噴霧後拍攝照片，再重覆步驟 4，共十次

(二)實驗結果:

觀察照片後，可看到每次噴水後霧氣收集的過程，其結果雷同實驗二的討論與分析第 4 項。但是因針織遮光網編織方式和透明尼龍紗網大為不同，於是我們取出第一次對網子噴霧的照片於表 4-4-3。

表 4-3-1 對不同遮蔽率針織遮光網噴水 1 次後照片比較

遮蔽率	50%	60%	70%	80%
放大圖 (截取 1*1cm 區域)				

實驗三 討論與分析

1. 從實驗三-1 中可看出針織遮光網的回收率為 $60\% > 50\% > 70\% > 80\%$ ，並不是依照著遮蔽率變化。
2. 從表 4-3-1 中的照片我們可以觀察到在 50%、60% 遮蔽率的遮光網的垂直向的斜、直線上有許多的小水珠，數量多於 70、80% 遮蔽率的網子，推測是因為一個網格中垂直向的斜、直線的長度較長(50、60% 約為 3.6mm；70、80% 約為 2.5mm，表 3-2-2)，所以有較長的空間可以讓霧氣攀附在上面形成小水珠，最後當小水珠聚合達到一定大小後滑落。而 70% 和 80% 除了小水珠較少外，多條網線阻礙了小水珠之間的聚合，又加上斜線的下方有鎖鏈狀的編織會阻擋大水珠的滑落，推測這是造成遮蔽率增加卻會降低集水回收率的原因。
3. 第 2 點之現象和正方形網格的透明尼龍紗網實驗二-2 結果相近，網格長度變小到一個長度後，會影響霧氣吸聚成小水珠的速度及數量。霧氣持續不斷地吹向捕霧網，因為網線數多且密，會使已在網面上附著的小水珠不能迅速增大滑落。加上大水珠往下滑落不易，讓水珠停留在網面的時間增加，就會減少霧氣持續透過網面並攀附在網面上的機會，降低集水效率。

實驗四、探討捕霧網不同架設方向的集水特性

參考有關捕霧網的研究發現，多數是採用遮蔽率 50%的針織遮光網做為捕霧網來測試。但是與一般網目網子相比，複雜的編織方式應該會有較多的變動性。於是我們想改變網子的架設角度，探討集水效果是否會被網線方向影響。

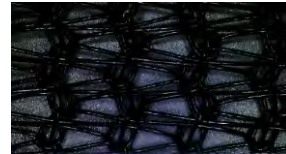
實驗四-1 針織遮光網的架設方向

黑色針織遮光網由於是用來做為遮陽用途，網格並不是類似於一般紗網的矩形，所以在直向和橫向的網線編織上就有很大的差異。將原架設方向稱為直向(0 度，如圖 4-4-1)，旋轉 90 度後則定為橫向(90 度，如圖 4-4-2)。

圖 4-4-1 針織遮光網直向(0 度)示意圖



圖 4-4-2 針織遮光網橫向(90 度)示意圖



(一)實驗步驟:

1. 將 50%、60%、70%、80%遮蔽率的針織遮光網剪裁成 40*20 公分大小，分別以直向和橫向方式用長尾夾夾在木質外框上
2. 把捕霧網與集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱加水至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱噴霧，以電子秤測量收集的水量，共集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果: 圖 4-4-3 50%、60%、70%、80%針織遮光網架設不同方向的集水回收率

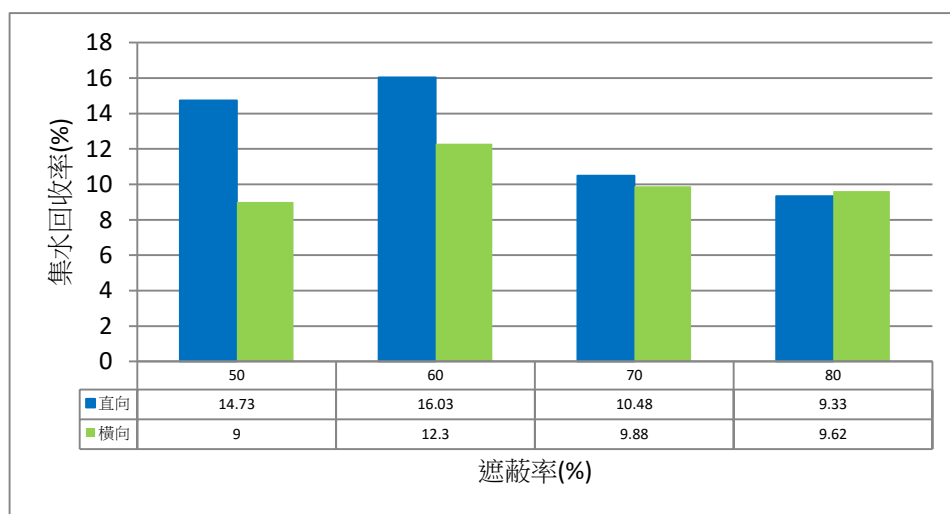


圖 4-4-3：不同遮蔽率的結果顯示大多都是以 0 度架設方向回收率較 90 度佳. 其中 50 和 60% 的網子集水效果有明顯差異，可達 3.8%~5.7%；70、80%則是差異不大。

實驗四-2 尼龍鐵絲網的架設角度

我們以尼龍鐵絲網來比較近似正方形網格的網子在 0 度(圖 4-4-4)與轉 45 度(圖 4-4-5)兩種架設方式下的集水特性。

圖 4-4-4 尼龍鐵絲網 0 度示意

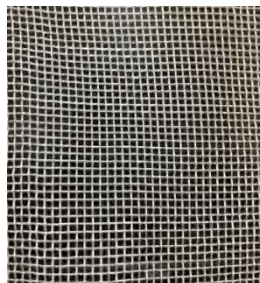
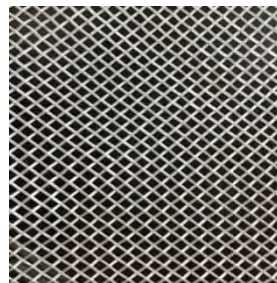


圖 4-4-5 尼龍鐵絲網 45 度示意



(一)實驗步驟:

1. 將尼龍鐵絲網分別以 0 度、45 度的角度剪裁成 40*20 公分大小，並且用長尾夾夾在木質外框上
2. 把捕霧網與集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱加水至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱噴霧，以電子秤測量收集的水量，共集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-4-6 尼龍鐵絲網架設 0 度及 45 度的集水回收率

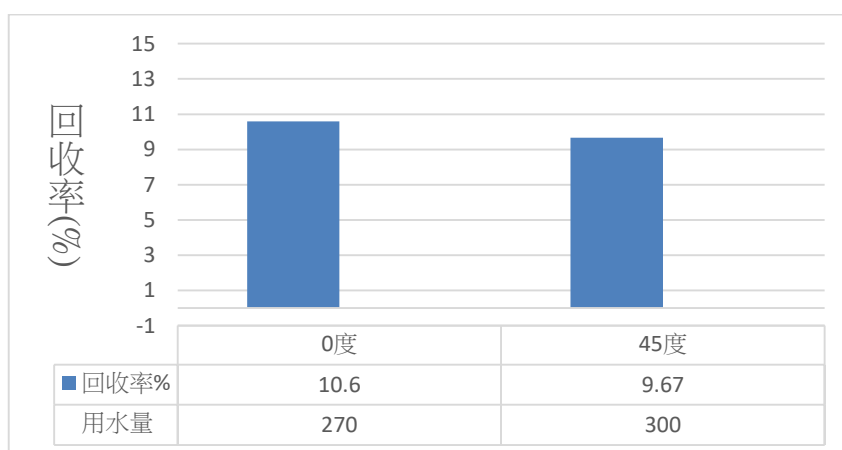


圖 4-4-6：以不同方向架設尼龍鐵絲網的結果接近。正方形的網格轉為菱形集水差異不大。

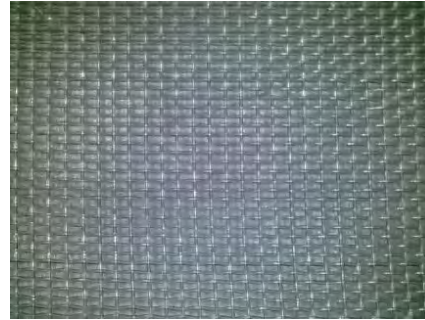
實驗四-3 透明尼龍紗網的架設方向

在經過量測後發現這一系列的透明尼龍紗網的網格水平、垂直兩側的邊長長度差異較大(如表 3-1-1)，所以我們決定使用有較好回收率的 80 目透明尼龍紗網，比較長方型網孔的網子 0 度與 45 度的集水效果差異。

圖 4-4-7 尼龍紗網 0 度示意



圖 4-4-8 尼龍紗網 90 度示意



(一)實驗步驟:

1. 將透明尼龍紗網 0 度及 90 度剪裁成 40*20 公分大小，並且用長尾夾夾在木質外框上
2. 分別把捕霧網和集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
3. 將製霧箱內水加至標示刻度，秤量製霧箱總重量
4. 開啟製霧箱，以電子秤測量收集的水量，集霧 30 分鐘
5. 結束後秤量製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-4-9 透明尼龍紗網 0 度、90 度集水回收率

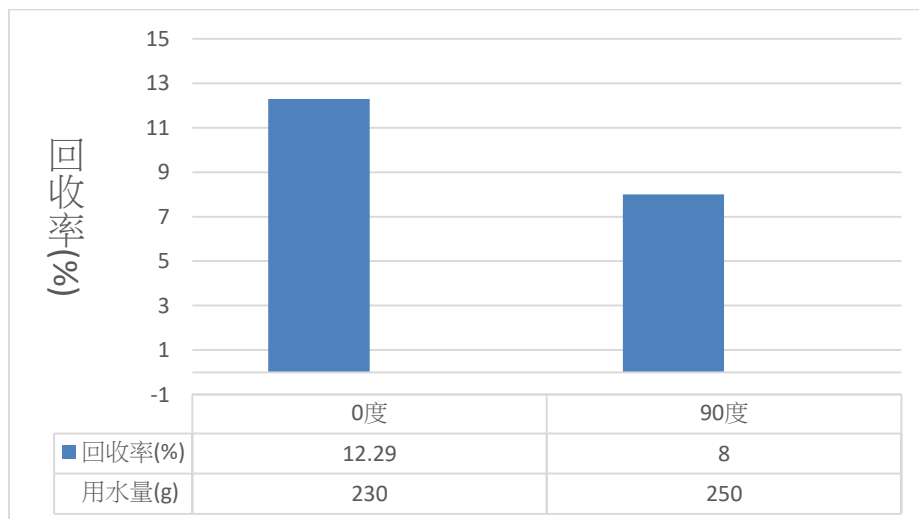



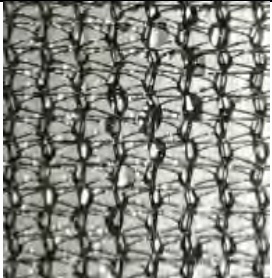


圖 4-4-9:0 度架設方向回收率高於 90 度。長方形網孔的架設方向對集水有明顯的差異。

實驗四 討論與分析

1. 從實驗四-1、四-3 與圖 4-4-3、4-4-9 的結果中可知大多數的網子都是 0 度架設的集水量優於 90 度架設的集水量。
2. 在得到實驗四-1 的數據後，由於 50%、60% 遮蔽率的針織遮光網在直、橫向架設角度的回收率差異較大，所以我們多拍攝了向網子噴水後水珠流落的過程與情形來做分析。其中我們選擇在實驗四-1 中 0 度與 90 度回收率差異較大的 60% 針織遮光網來觀察，部分結果如下表 4-4-1。

表 4-4-1 針織遮光網 0 度與 90 度的噴水實驗觀察

網子名稱	針織遮光網 60% 0 度	針織遮光網 60% 90 度
原圖		
局部放大圖		

從表 4-4-1 中的圖片可以觀察到以 0 度架設時部分水珠

將在水珠滑落後停留在滑過的網孔中，因為網線是由上向下內縮，所以水珠能夠形成一條條類似水道的直線，就會更容易引導接下來上方的水珠順著編織線的方向滑落。而以 90 度架設時因為編織方式的關係，會讓水珠滑落時，受到橫向網線阻擋，使水珠停留在網面時間拖長，降低集水效果。

3. 我們比較 4 種遮蔽率的網格大小情形(研究設備及器材中之表 3-2-2)，比較得到四種遮蔽率網子的每一網格垂直向長度與水平向長度比值為：50%(1.8)、60%(2.1)、70%(1.3)、80%(1.6)，代表 50 及 60% 的遮光網的網格垂直向長度與水平向長度差距較大，所以將網子轉向後，50、60% 的集水效率有大的差異，而 70、80% 則是較為接近。
4. 實驗四-2 結果顯示正方網格轉為菱形狀網格，對集水效果影響不大。
5. 實驗四-3 中可知道長方形網孔的架設方向改變，造成 4% 的集水效果差異。44 目透明尼龍紗網原架設方向(0 度)的網孔水平向長度及垂直向長度為 0.517mm 及 0.887mm，轉為 90 度後變成水平向長度較垂直向長。可知單位面積中相同的網格數，使垂直向長度大於水平向的長度，能使集水效率增加，其比值為 1.7 轉為 0.58。

實驗五、探討應用疏水塗料對捕霧網集水效率的影響

綜合實驗二~四的結果，得知水珠自網面上脫落速度快時，有較佳的集水效果。於是我們想利用疏水性材料改變網面局部的特性，同時依據集水實驗結果設計出不同的塗佈方式，測試集水差異。我們選擇使用市售的紡織品用防水噴劑作為塗料，而尼龍鐵絲網的網面編織方式較單純且價格平實，網線間距不會過小也較容易塗佈塗料，比較可以確認塗佈是否正確，因此使用 16 目尼龍鐵絲網進行實驗。

實驗五-1 疏水塗料對網線上滑落速度影響

為了確認防水噴劑塗至網面上是否確實增加了材質的疏水性，同實驗一-2 的方式，測試水珠在有疏水塗料的網線上的滑落速度。

(一)實驗步驟:

1. 隨機取出 16 目的及尼龍鐵絲網的一條網線
2. 將網線拉直，用膠帶固定於桌面與地面之間(高 72.3cm)，使網線垂直於地面，並固定一把長尺在旁
3. 以微量滴管滴取 5 微升的水珠於網線上
4. 用手機對準水珠正前方，拍攝水珠滑落的過程
5. 使用 Free Video to JPG Converter 將影片轉成照片，取水珠滑落 20 公分的總照片數
6. 將照片數量換算成時間，計算水珠的滑落速度，並測量每次水珠滑落的大小

(二)實驗結果:

圖 4-5-1 尼龍鐵絲網有無塗料與滑落速度關係圖

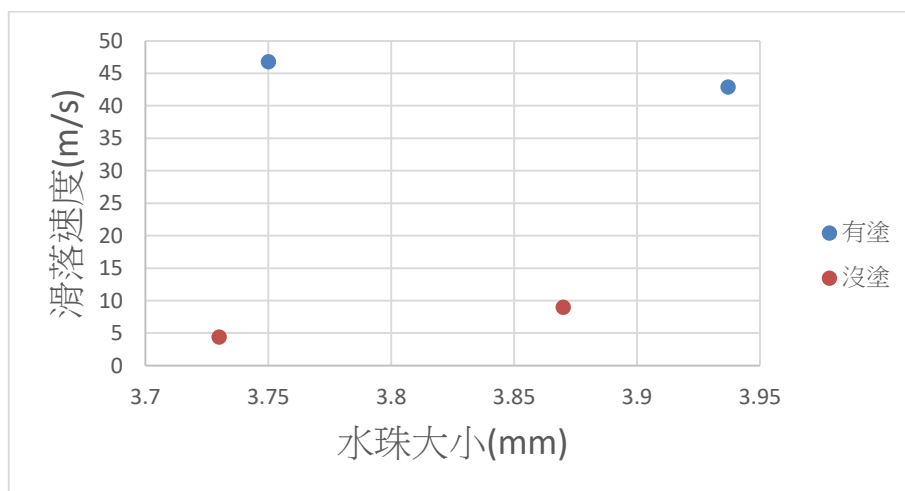


圖 4-5-1：網線塗上防水噴劑後，水珠滑落速度明顯增加。從 5m/s~10m/s 增為 43m/s~47m/s。

實驗五-2 塗料對尼龍鐵絲網的集水

確認防水噴劑可增加尼龍鐵絲網的疏水性後，進行整張網面的塗佈。塗佈方向除了全張網子皆塗上防水噴劑的材料外，還分為直向塗佈(塗料的方向為將水彩筆由上往下直向塗，圖 4-5-2)和橫向塗佈(塗料的方向為將水彩筆由左至右橫向塗，圖 4-5-3)，而直、橫向塗佈皆隔兩行/列後才再次塗抹，是因為實驗二-3 的結果讓我們知道水珠直徑約達 2.5mm~3.5mm 能開始滑落。

圖 4-5-2 直向塗佈位置示意圖
(紅色線段僅表示有塗料的位置)

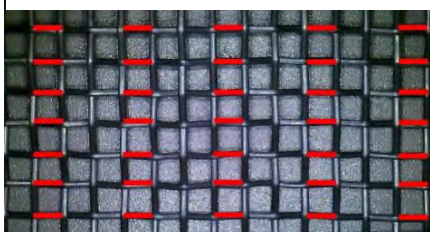
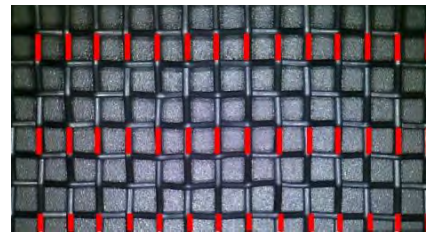


圖 4-5-3 橫向塗佈位置示意圖
(紅色線段僅表示有塗料的位置)



(一)實驗步驟:

1. 將塗劑噴出在燒杯中攪拌均勻
2. 將尼龍鐵絲網剪裁成 40*20 公分大小
3. 用水彩筆將塗料加在步驟 2 之網上，比較沒有塗料、全塗、直向塗佈(圖 4-5-3)以及橫向塗佈(圖 4-5-4)
4. 分別把捕霧網和集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
5. 將製霧箱內水加至標示刻度，秤量製霧箱總重量
6. 開啟製霧箱，進行集霧 30 分鐘
7. 結束後秤量製霧箱重量，計算回收率

(二)實驗結果:

圖 4-5-4 16 目尼龍鐵絲網不同塗法

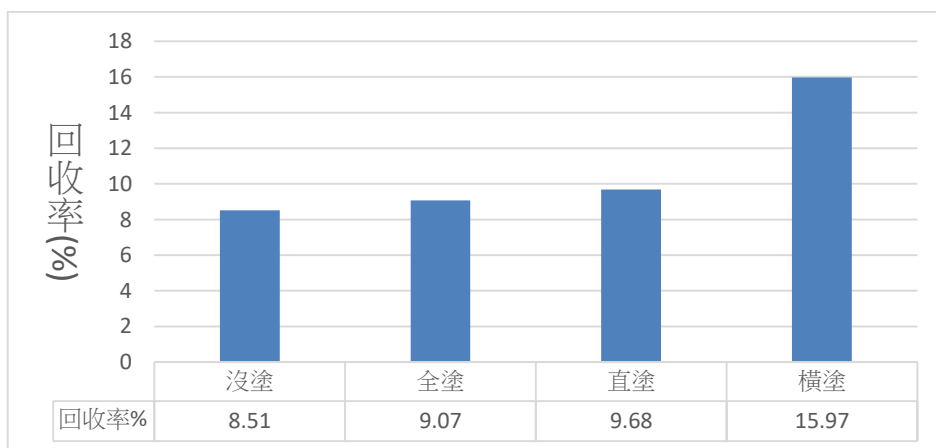


圖 4-5-4：橫向塗佈方向集水回收率優於對照組(沒塗)、全塗與直向塗佈。

實驗五-3 疏水塗料間格距離

在實驗五-2 當中我們得知橫向塗法有較好得集水效果，而我們想在比較如果改變有塗料的網線之間間隔，是否會對集水產生影響。因此在實驗中我們比較尼龍鐵絲網上間隔不同網格數塗佈塗料的集水效果。

(一)實驗步驟:

1. 將塗劑噴出在燒杯中攪拌均勻
2. 將尼龍鐵絲網剪裁成 40*20 公分大小
3. 用水彩筆將塗料加在步驟 2 之網上，分為距離 1 格、2 格、3 格(如圖 4-5-5~圖 4-5-6)
4. 分別把捕霧網和集水盒放置在集霧箱中距離噴霧管口 30 公分處
5. 將製霧箱內水加至標示刻度，秤量製霧箱總重量
6. 開啟製霧箱，以電子秤測量收集的水量，集霧 30 分鐘
7. 結束後秤量製霧箱重量，計算回收率

圖 4-5-5 橫 1 格

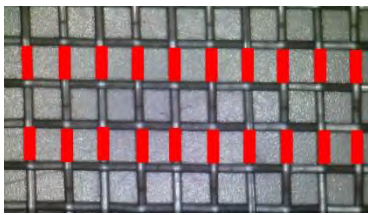


圖 4-5-6 橫 2 格

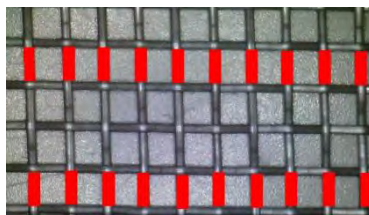
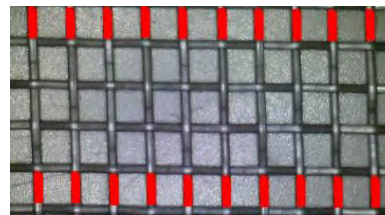


圖 4-5-7 橫 3 格



(二)實驗結果:

圖 4-5-8 橫向塗佈間隔不同的回收率比較圖

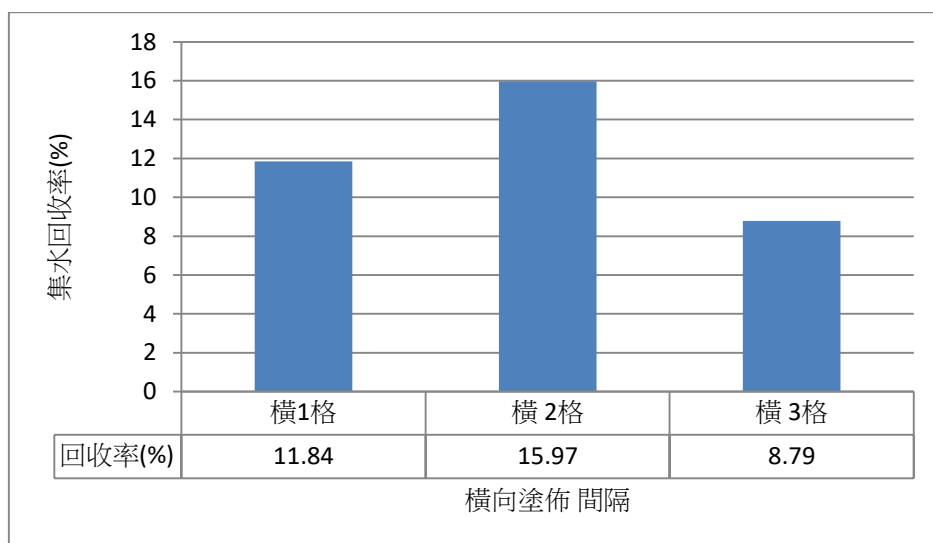


圖 4-5-8：回收率為間隔 2 格>間隔 1 格>間隔 3 格

實驗五 討論與分析

1. 實驗五-1 水珠滑落速度的增加，確認了防水噴劑能增加尼龍鐵絲網的疏水性。
2. 實驗五-2 結果顯示尼龍鐵絲網的集水效果為沒塗、全塗和直向塗法集水回收率接近，橫向塗法的集水回收率則明顯較好。全部塗佈卻不能增加集水回收率的原因推測為捕霧網要能讓霧氣吸附在網面上才能持續增大至滑落，疏水材質可以使水珠滑落速度增快，但可能降低網面對霧氣的吸附力，所以集水回收率沒有明顯改變。而橫向塗法的集水效果好，可能為此種塗佈方式可加速水珠滑落，但僅有部份網線吸附力降低，在未塗到塗料的網線上可有效吸附霧氣，且不妨礙可滑落的水珠的增長。
3. 實驗五-3 回收率為間隔 2 格>間隔 1 格>間隔 3 格，證實塗料間距會影響回收率。
4. 實驗結果為以 2 格間距塗佈的集水效果最好。我們推測可能原因是 2 格塗佈時，其間隔距離約為 2.65mm(1 格為 1.32mm、3 格 3.98mm)。而在實驗 3-7 中我們觀察到在此網面材質下水珠須達到一定重量方可滑落，而此時其直徑約為 2.5mm-3mm 之間。因此我們推測此適當間隔較可讓水珠更順利增長至滑落所需的大小。

伍、綜合討論

1. 實驗環境

(1)根據資料得知自然中的霧滴直徑約為 10-100 微米。經文獻中公式計算，得知實驗中使用的超音波霧化器所產生霧氣粒子直徑約為 8.76 微米。

(2)查詢氣象資料與文獻得到高山多霧環境的風速為 2m/s~5m/s。但是在實驗及觀察後，我們認為風速加快會增加裝置中霧氣的通量，單位時間內經過網面的霧量會變多，但也因風速增大，使網面上較小的水珠可能被吹散，而水珠的形成與霧停留在網面的時間亦有關聯，風速過快停留時間短，不利於水珠的增長。我們的研究主題為了解捕霧網本身的特性是否影響集水的效果，所以實驗環境風速為較小，為 1.4m/s~1.0m/s，代表我們實驗裝置的結果較適合應用於輻射霧的霧氣收集，也適合平地收集霧氣。

2. 集水效果(回收率)

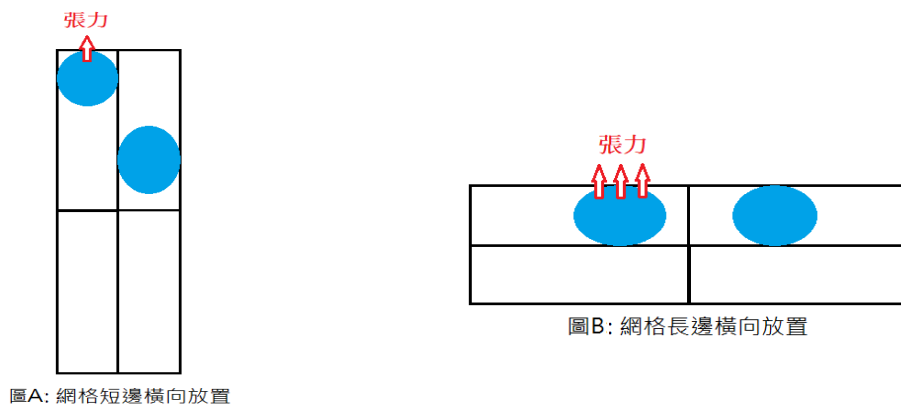
自製的實驗裝置可利用磅秤直接測量實驗前後製霧箱的重量差異，可以測得每次實驗中製成水霧的總水量，而非假設每次噴霧量都相同，所以能夠有效的控制噴霧量影響所得水量的誤差，而能夠獲得更準確的集水效率，有助於了解改變變因的集水效益差異。

3. 捕霧網面架設角度與集水效果分析

實驗中發現最有經濟效益的做法是僅將特殊網孔的網面架設方向改變，對集水效果就有明顯的差異。特殊網孔是指長寬比值達 1.7 的長方形網孔(實驗四-3)及 50、60%的針織遮光網(實驗四-1)，針織遮光網的網孔因其複雜編織造成網格中的網孔形狀不規則，但因架設角度方向能造成明顯集水差異的 50%、60%的遮光網中仍可看出其網孔形狀偏向長形，且兩種特殊網孔架設方式皆為長邊垂直地面的集水回收率高。

以下用長方形網孔說明分析，圖 A 為將長方形網孔長邊做垂直地面架設，圖 B 長方形網孔短邊做垂直地面架設。

- (1) 首先，44 目透明尼龍紗網網孔長短邊的比例為 1.7 : 1，以此數據說明。因此若網子為高度是 L，則水珠落下過程中，在圖 A 和圖 B 遇到阻礙的次數比可視為(L/1.7) : (L/1)，因此圖 A 上的水珠可以較順利快速落下。
- (2) 以一顆水珠當下受力情形來作探討，兩張圖形的重力接近，而圖 5-1 的水珠與網線介面接觸長度較少，因此與向上的張力較圖 5-2 小，易而造成水珠下落的速度快，最終能有較好的集水回收率。



4. 水珠滑落分析

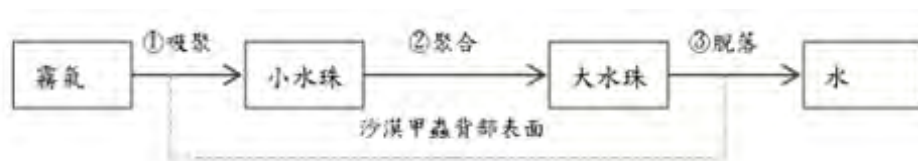
捕霧網回收率與小水珠能迅速成長並且快速落下有極大的相關。水珠成長的過程中，水珠的表面積越大則使通過的霧氣有愈多能攀附其上，使重量增加速率較快而能較快落下。造成下落的因素為球狀水珠表面積 $4\pi r^2$ ……式①；造成滯留的因素為液滴與網孔邊網線介面產生張力大小與接觸長度相關，約略為 r ……式②

同時考慮此二因素，以①式除以②式，剩餘影響滑落的因素為 $4\pi r$ 。因此半徑較大的水珠，增長至可滑落的大水珠時間短。

5. 集水過程分析

依據參考資料三得知沙漠沐霧甲蟲背部的集水過程分作三個階段，如圖 5-1 所示，我們觀察到捕霧網上的集水過程與這個過程相似。在我們的實驗中，①吸聚過程和網目數、網線吸附霧的能力及單一網孔的較短邊長長度有關：網目多可增加通過霧氣攀附在網上的面積、網線的材質親水性與粗糙度影響霧氣通過時吸附能力，推測親水性高與較粗糙的表面可增加吸附霧氣的量、而最短邊長度會造成霧氣吸聚成的小水珠尺寸侷限為網孔大小，而從綜合討論 4 可知，水珠直徑會影響增長速度，同時邊線上的小水珠數量較少，會影響到下個過程；②聚合過程時若因網孔間過多交叉凸起的網線，會防礙聚合，使小水珠較難與鄰近的小水珠結合成大水珠，過多的網目和複雜編織皆有此現象；③脫落過程和網面垂直向網線材質疏水性及網格垂直向和水平向長度比相關：在滑落方向的線上能有好的疏水性和長度比在 1.7~1.8 之間的網格會加速水珠脫落過程，增加集水效率。

圖 5-1 沐霧甲蟲集水過程



陸、結論

- 1、三種不同材質的網面材料在 30 分鐘的集霧實驗中，以疏水性高的不鏽鋼網集水效率較佳，但疏水性高亦會降低網面吸附霧氣能力，所以在垂直向網線上適當位置增加疏水性有最好的集水效果。
- 2、在捕霧網中網孔較短邊長度大於 0.5mm 時，網目愈多集水效率愈高；較短邊線徑長度低於 0.5mm 時，因霧氣吸聚的小水珠易侷限在網孔內，形成數量較多但尺寸較小的小水珠，降低水珠增長速度，影響集水效率。
- 3、當捕霧網的網孔非均勻大小時，架設的方向會影響到集水效率。以網孔中較長的一邊作為垂直地面方向時集水效果較好，與較短邊垂直地面架設的集水回收率差異可達 3.7~5.7%。如遮光率 50% 的針織遮光網 0 度 14.7%、90 度 9%，相差 5.7%；60% 的針織遮光網 0 度 16.0%、90 度 12.3%，相差 3.7%；44 目的透明尼龍紗網 0 度 12.3%、90 度 8%，相差 4.3%

- 4、根據我們的實驗，可知網目數、網線吸附霧氣能力及網孔的面積影響霧氣吸聚成小水珠的吸聚過程與尺寸、網目數和網子的編織方式影響小水珠聚合成大水珠的過程、網面材質疏水性及網格垂直向和水平向長度比則影響大水珠自網面滑落至集水盒的速度。不鏽鋼網 24 目網和遮蔽率 60%的針織遮光網(0 度架設)有最高的回收率，可達 16%，兩者的材質都有較好的疏水性且單位面積的網孔數多，且網孔的尺寸不會太小至影響小水珠及大水珠的形成。
- 5、網面材料的疏水性不利於霧氣的吸附但能加速大水珠滑落，在同時考量後在網面上適當位置應用疏水塗料能有最佳的集水效果。適當位置為垂直向的網線上，且配合滑落的大水珠給予適當的間隔。在尼龍鐵絲網上間隔兩列垂直向網線上塗佈疏水塗料能增加約 7% 的集水回收率。

柒、參考資料及其他

- 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、楊久慧（2014）。仿生沐霧機制之建築外殼集水構件之探討。國立臺北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文，台北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/7b9a53>
- 三、張泉湧(譯)(1995)。普通氣象學(原作者:小倉義光)。臺北市:國立編譯館
- 四、林瑋龍、李頂立(2007)。表面粗糙結構對疏水性影響之應用與研究。臺灣二〇〇七年國際科學展覽會
- 五、賴婉婷，歐陽盛菊，歐陽盛芝(2017 年 1 月 6 日)。可從空氣中高效集水的新仿生表面。取自: <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/szK5.htm#start-content>
- 六、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。
- 七、賴冠良、林博雄、賴彥任、魏聰輝(2009)。霧偵測方法與水平降水推估之研究。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北
- 八、張欣茹、姜澤毅、張欣欣、柳翠翠、楊怡菲。沙漠甲蟲 Stenocara 與空氣取水。科技導報，中國，2006，24(0602)，18-21

【評語】 030503

捕霧網集水為貼近生活的研究題目，延伸到環境的議題，是一個很棒的發想。透過小型實驗配合天氣的條件，分析討論影響捕霧網之集水特性，能確實檢驗網子規格，觀察出異常。對於研究的對象能夠清楚的了解，繼而能做出簡單且清楚的分類，找出方法量化特徵，實驗設備能逐步改善並清楚交代。相關理論部分可以再補強。

壹、研究動機

世界上某些缺乏水資源的地區會用「捕霧網」收集霧氣，利用捕霧網將霧氣轉換成可利用的水資源改善缺水的困境。看到捕霧網架設在雲霧繚繞的山坡上的照片，讓我們想知道捕霧網的集水效果除了與氣候環境有關，是否也與網子本身的性質相關？那又應該如何提升集水效果？於是我們開始進行以下研究。

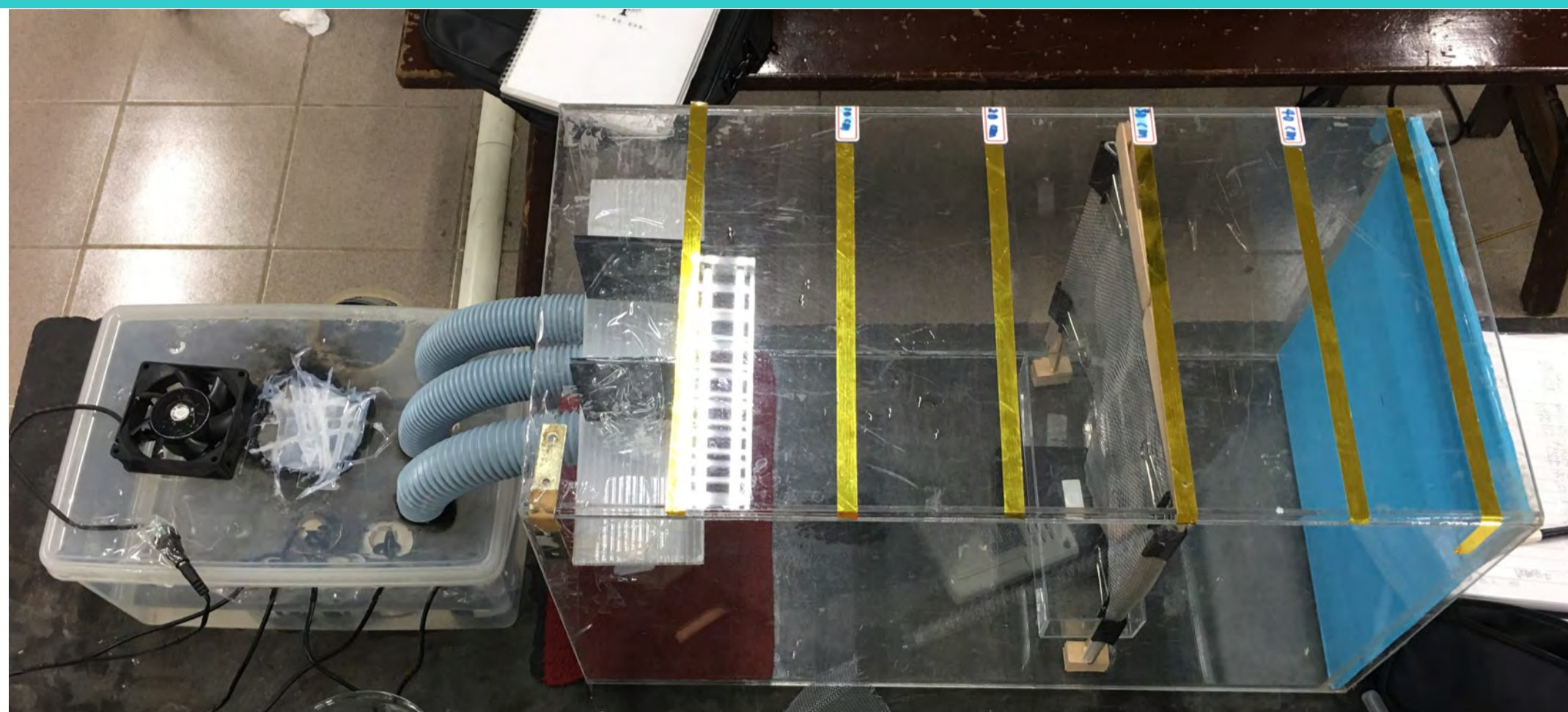
貳、研究目的

- 一、探討不同材質捕霧網的集水特性
- 二、探討不同網目數捕霧網的集水特性
- 三、探討針織遮光網的集水特性
- 四、探討捕霧網不同架設方向的集水特性
- 五、探討應用疏水塗料對捕霧網的集水差異

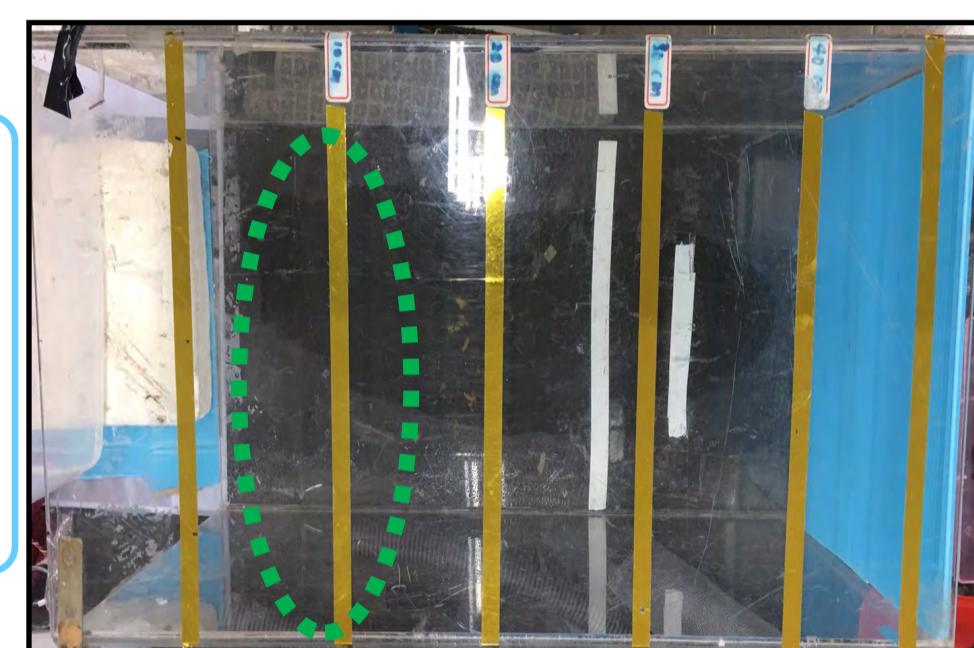
參、研究設備與器材

一、集霧實驗裝置

實驗裝置主要分成三大部分，分別為製霧箱、集霧箱及捕霧網架。



集霧箱



透明箱上用黃色膠帶標示位置，依序為出霧處、10、20、30 公分處。30 公分處風速為 1.0~1.4m/s。

製霧箱

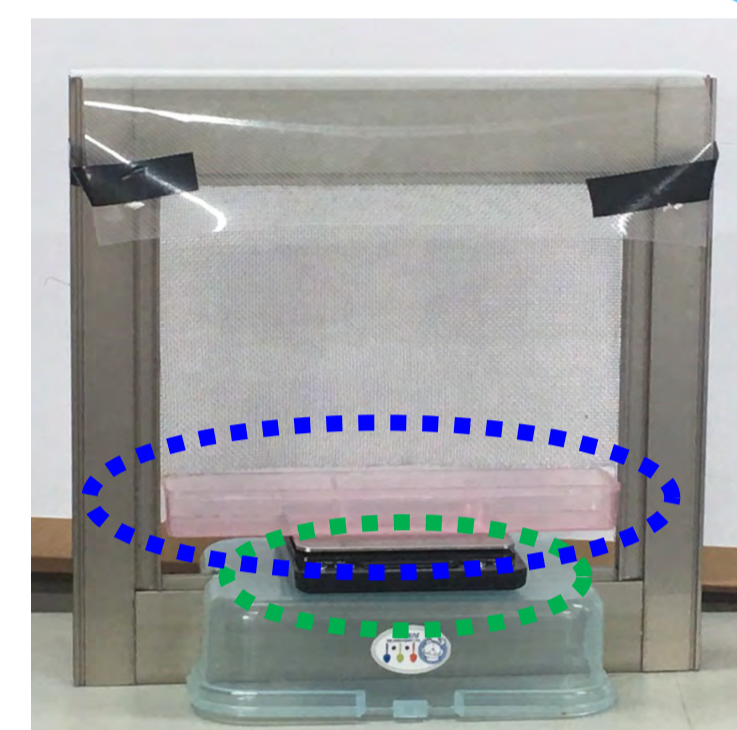


我們在製霧箱側壁挖了出霧孔，超音波霧化器放置箱底共有 5 顆，利用風扇將霧氣吹出。

超音波霧化器:霧化片直徑 20mm
振動頻 1.65MHz
霧氣直徑大致為 8 μm

風扇:轉速 3100RPM
風量 0.94 m3/min
風壓 4.597mmH2O

捕霧網架



將網子架設於網架上，在底下放置集水盒及電子秤。上兩圖分別為第一代(木質)及第二代(鋁製)架設捕霧網的網架，而網架兩代的差異在於更加容易將網子平整的架設於框架上，降低因網面產生的誤差。

二、實驗設計與流程

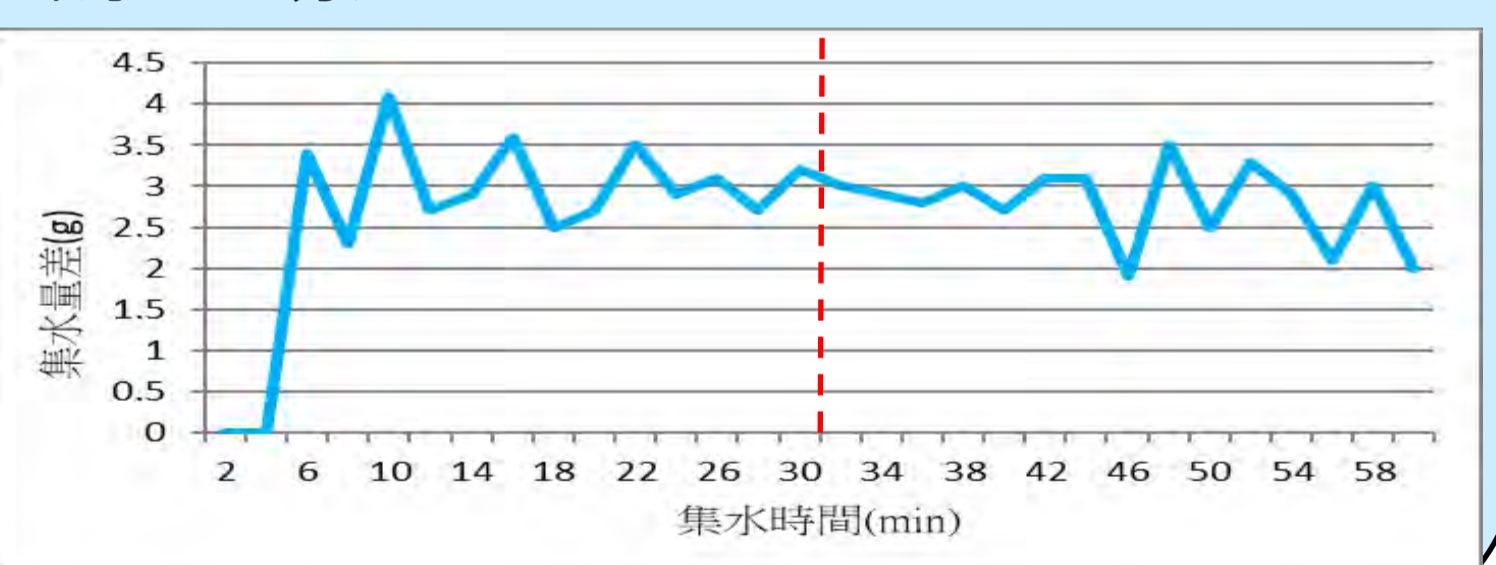
前置作業

- 製霧箱加水至指定刻度並秤量重量(W0)
- 將實驗網子架設網架上
- 網架放置 30 公分處
- 設定風扇轉速

進行實驗

- 開啟霧化器及風扇
- 利用電子秤觀察集水變化
- 共實驗 30 分鐘

我們先進行 60 分鐘實驗，將每 2 分鐘的集水量繪製如下圖。發現在大約 15~45 分鐘時的集水量變化較為穩定，為兼顧時間效益，我們將實驗時間固定為集水 30 分鐘。



集水回收率計算

秤量實驗後製霧箱重量(W 末)

集水回收率

$$= \frac{\text{集水量(g)}}{W_0(\text{g}) - W_{\text{末}}(\text{g})} \times 100\%$$

三、實驗網子介紹

實驗材料以市面上可購得的網子為主，有兩大類，分別為矩形網孔的各類網子及複雜編織的遮光網。我們重新測量市售矩形網的網目數，結果如表 3-1；而遮光網的表示方式如表 3-2。

遮光網的編織大致為一個鎖鍊狀的圈，往下則分別為不同角度的斜、直線，而四周都是這個基本架構的延伸，將此一基本架構稱為一網格。(如右圖)
水平向的針數以一個圈視為一針(藍線)，垂直向以一個鎖鍊狀的圈及斜直線視為一排(紅線)，以藍線作為水平向邊長，紅線作為垂直向邊長。以此方法來表示不同遮蔽率的遮光網網格大小。

網格單位定義

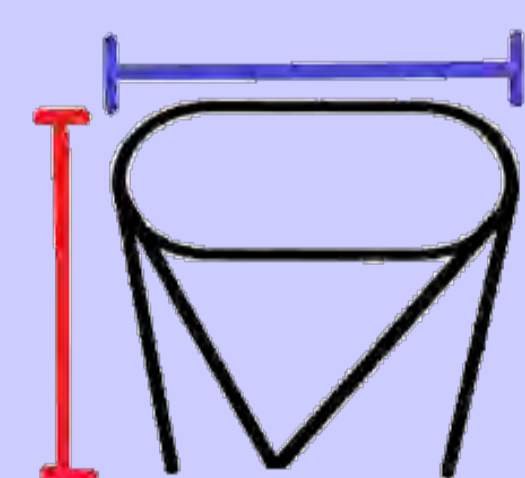


表 3-1 網孔大小比較

	尺寸 1	尺寸 2	尺寸 3	尺寸 4
不鏽鋼				
16 目				
20 目				
24 目				
	(1.280mm*1.280mm)	(1.103mm*1.156mm)	(0.789mm*0.829mm)	
不鏽鋼、 塑膠牛筋 尼龍鐵絲				
16 目				(矩形網孔水平向*垂直向邊長)
	(1.280mm*1.280mm)	(1.276mm*1.496mm)	(1.326mm*1.544mm)	
透明尼龍				
22、44、 52、60 目				
	(0.916mm*1.124mm)	(0.517mm*0.887mm)	(0.385mm*0.615mm)	(0.332mm*0.608mm)

表 3-2 針織遮光網大小比較

50%	60%
每英寸水平針數*垂直向排數 12.1x7.0	每英寸水平針數*垂直向排數 14.4x6.9
[2.0mm*3.6mm]	[1.7mm*3.6mm]
70%	80%
每英寸水平針數*垂直向排數 14.0x10.9	每英寸水平針數*垂直向排數 15.7*10.8
[1.8mm*2.3mm]	[1.6mm*2.5mm]

[針織遮光網格水平向*垂直向邊長]

表 3-3 網子材質表

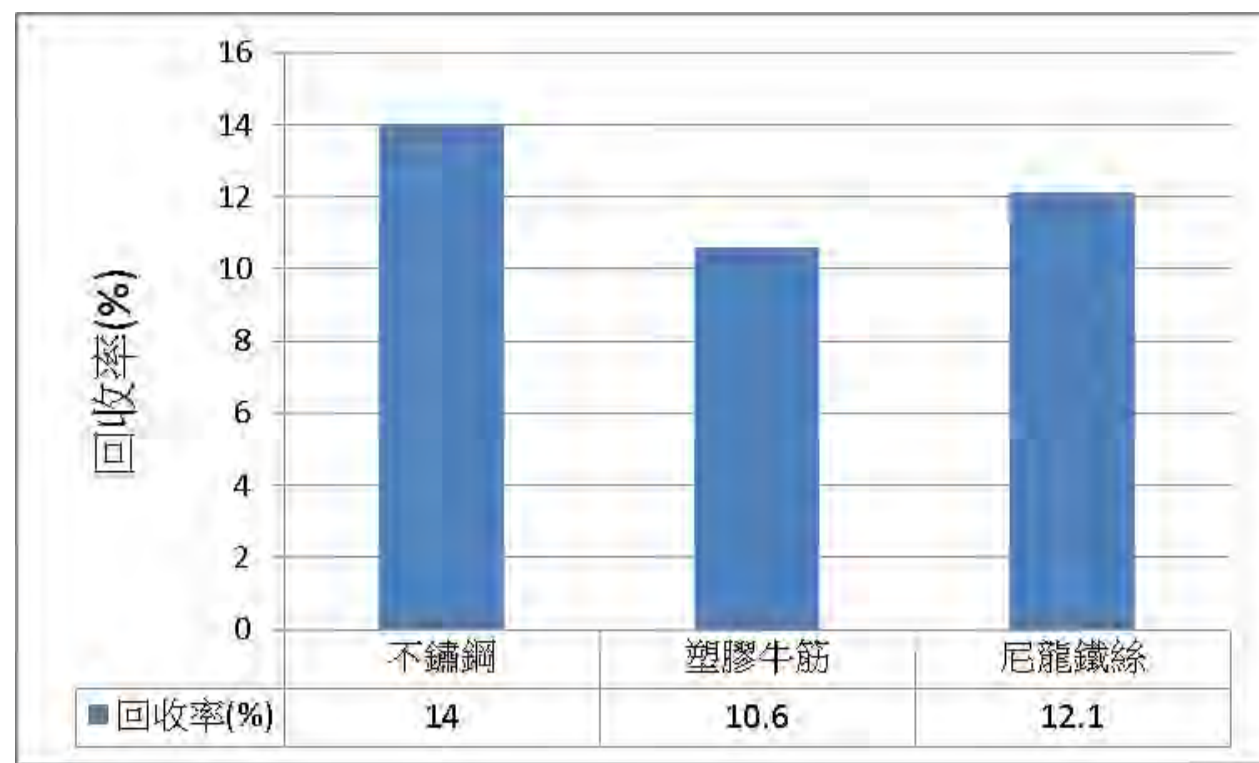
網子名稱	材質
不鏽鋼	304 不鏽鋼
尼龍鐵絲	鐵絲(內) +PVE (外)
塑膠牛筋	PET
尼龍紗網	PE
針織遮光網	HDPE

肆、研究結果

【實驗一】探討不同材質捕霧網的集水特性

一-1 不同材質網子的集水效果

我們想知道市面上的網子何種適合作為捕霧網面?因此選用 3 種材質的 16 目網子進行實驗。



回收率為不鏽鋼網最高，尼龍鐵絲網與塑膠牛筋網相近。推測是與材質本身的疏水性相關，於是設計實驗 1-2 來比較其差異。

一-2 水珠在不同材質網線上的滑落速度

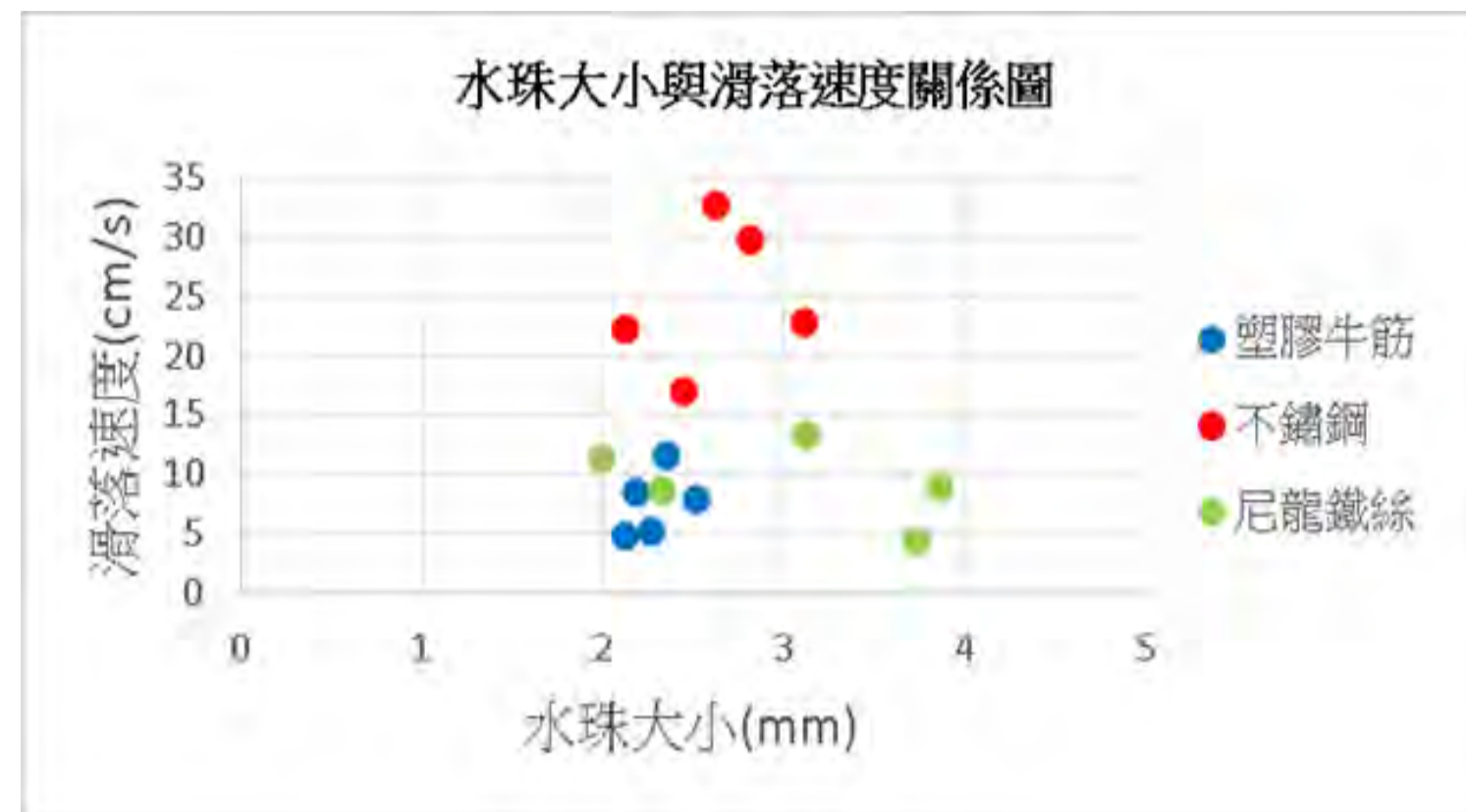
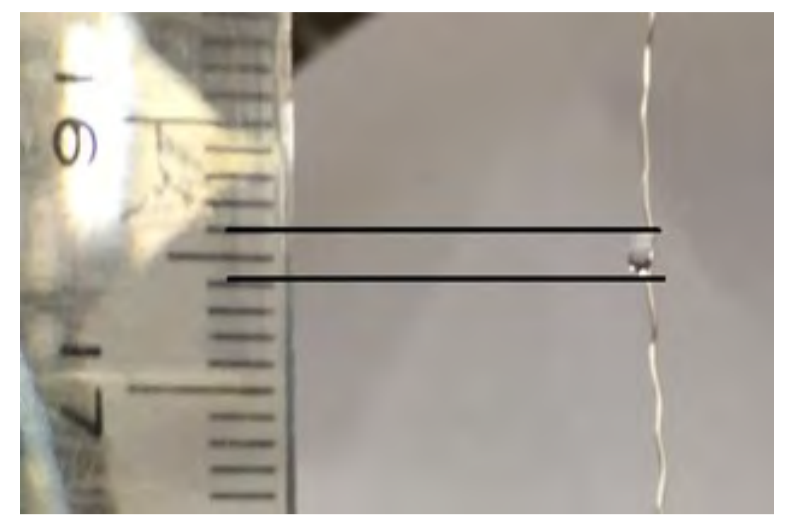
實驗步驟:

- 1.取三種不同材質網線各一條，拉直固定。
- 2.以微量滴管滴取5 μ L 水滴於網線上，拍攝滑落過程(圖1)。
- 3.量測水珠於三種材質網線滑下長度20cm的距離所需之時間，以分析滑落速率。並量測水滴尺寸當作參考(圖2)

圖1



圖2

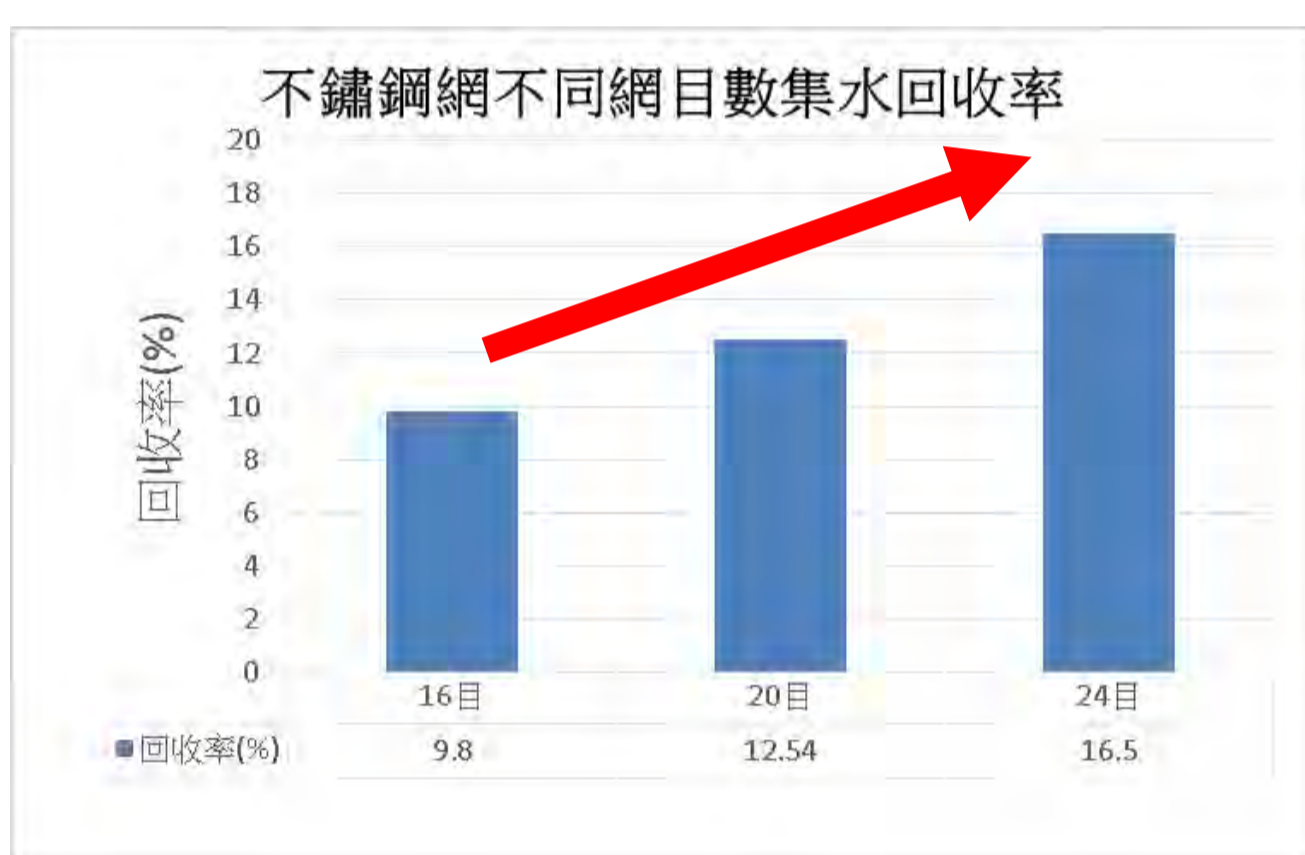


不鏽鋼網滑落速度明顯較快，代表其疏水性佳同時有較好的集水效果，水珠在其上的滑落速度為另兩種材質兩倍，但回收率卻僅增加 2%。仔細觀察捕霧過程，發現水珠在網面上滑落情形相當複雜，相鄰水珠的聚合、碰觸網線及交叉點皆會造成水珠的滯留。

【實驗二】探討不同網目數捕霧網的集水特性

二-1 不同網目數不鏽鋼網的集水效果

我們想知道網目數對集水效果的影響，首先用網格較規則、堅固的不鏽鋼網進行實驗



集水回收率為 24 目>20 目>16 目，也就是網目數增多，集水效率增加。

網目數多，則單位面積中網線之比例高，在相同時間能攔截較多霧氣就有高的集水率。

二-2 不同網目透明尼龍紗網的集水特性

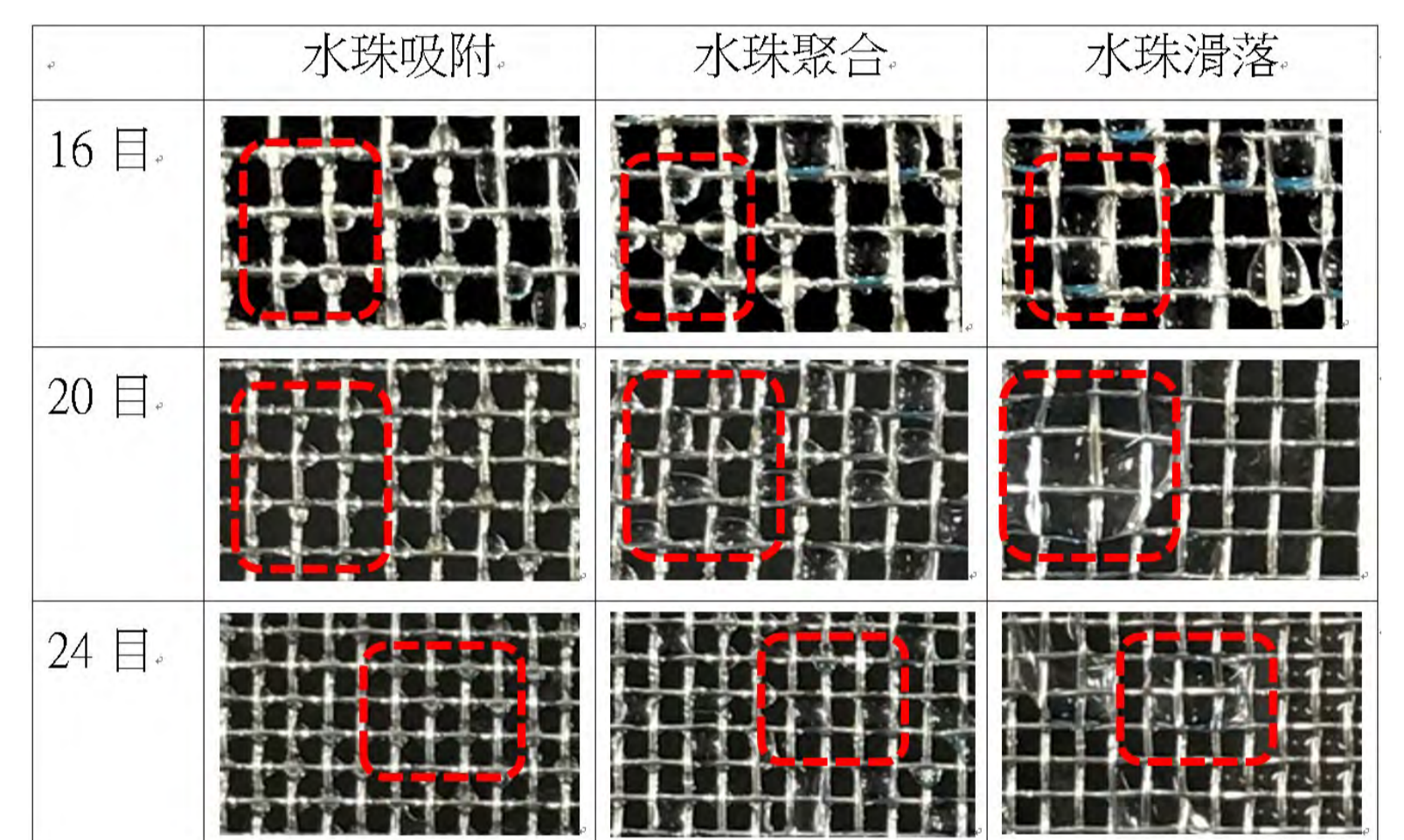
實驗二-1得知市售不鏽鋼網的集水效率隨網目數增加而增加，但想了解更多網目數是否仍有相同效果，因此使用有更多網目數的尼龍紗網實驗



集水回收率為44目>22目>52目≈60目。可見在尼龍紗網中，網孔數與集水率關係並不同於不鏽鋼網，在網目數過多時集水率反而下降。

二-3 不同網目不鏽鋼網的集水過程

使用噴瓶對網面噴水，觀察霧氣在網面的情形

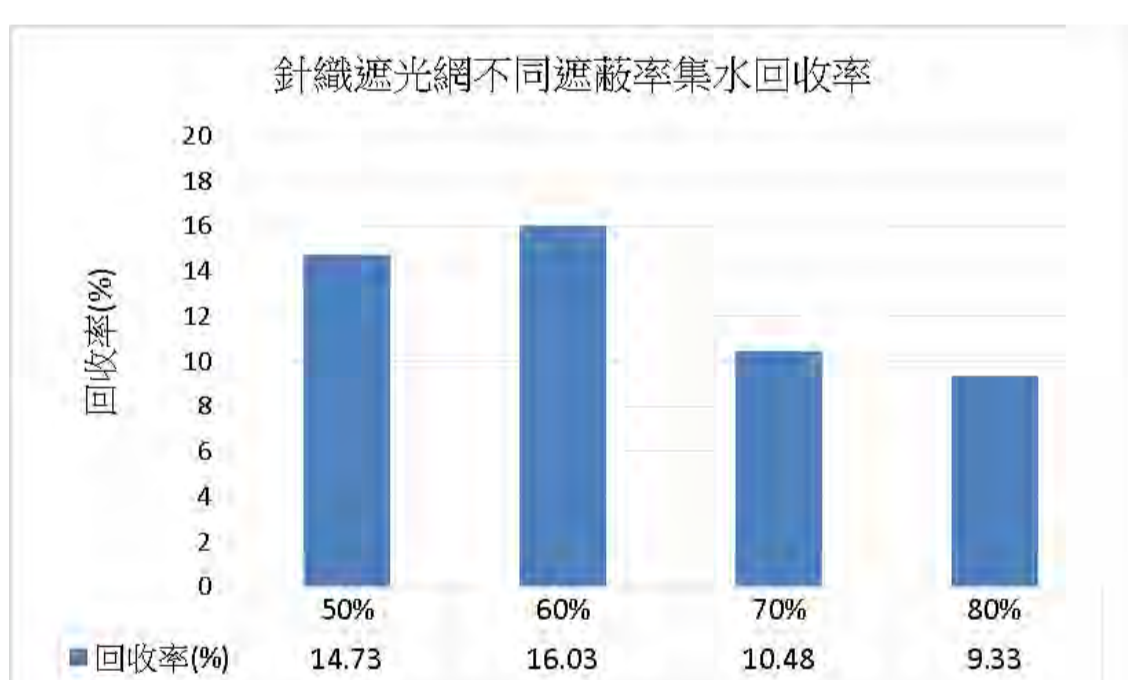


水珠吸附: 噴水一次，霧氣在網線交叉處吸聚成直徑約 0.4~0.6mm 的小水珠。
水珠聚合: 繼續噴水，直徑約 0.4~0.6mm 的小水珠與鄰近水珠聚合成大水珠。
水珠滑落: 直徑增加至約 2.5~3.5 mm，即開始滑落

【實驗三】探討針織遮光網的集水特性

三-1 不同遮蔽率針織遮光網集水效果

遮光網在市面上常見，有些相關研究也使用此種網子，因此我們取四種不同遮蔽率進行實驗



回收率並非隨遮蔽率變化，在 60% 遮蔽率時集水效果最好，其次則是 50% 網。

三-2 不同遮蔽率針織遮光網的集水過程

同實驗二-3，觀察霧氣在遮光網上情形。

遮蔽率	50%	60%	70%	80%
放大圖 取1*1 cm區塊				

分析照片後，推測高遮蔽率(70%、80%)網子集水效果不佳的原因可能為：

- 1.多條網線導致部份網孔過小，阻礙了小水珠之間的聚合
- 2.斜線的下方有鎖鏈狀的編織會阻擋大水珠的滑落

實驗二、三結果比較

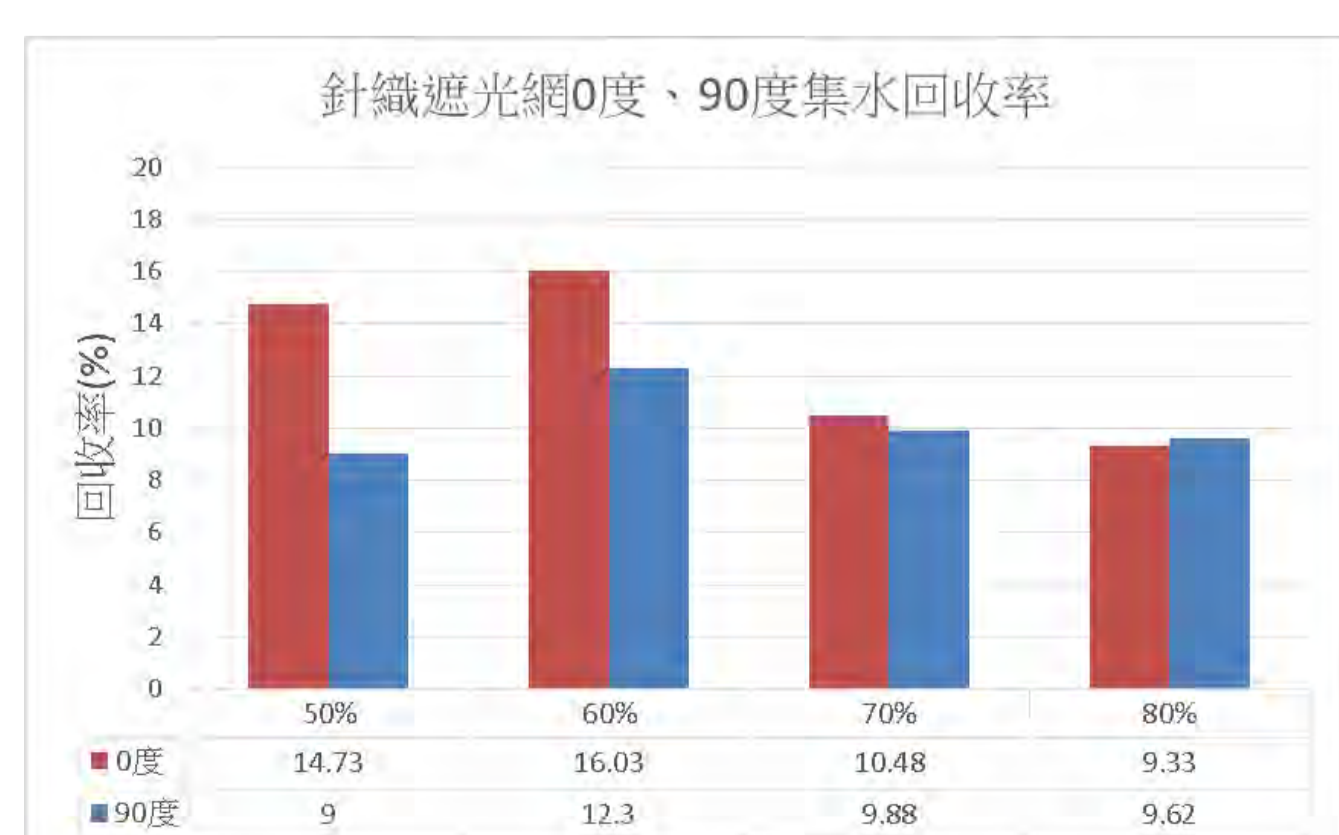
實驗二-2與實驗三-2結果相近：無論在尼龍紗網或針織遮光網上，網目數或遮蔽率皆須在一範圍內才有最佳集水效果。

- 1.網線有足夠的密集度使霧氣吸附量多
 - 2.網孔尺寸要能有利用小水珠的吸聚
 - 3.橫向網線不宜太密否則會使已在網面上附著的水珠難以滑落
- 網孔大小所影響的2面向必須取得平衡

【實驗四】探討捕霧網不同架設方向的集水特性

四-1 不同架設方向針織遮光網的集水效果

比較編織方式複雜的4種遮蔽率針織遮光網，在原本方向與旋轉90度後架設的集水回收率



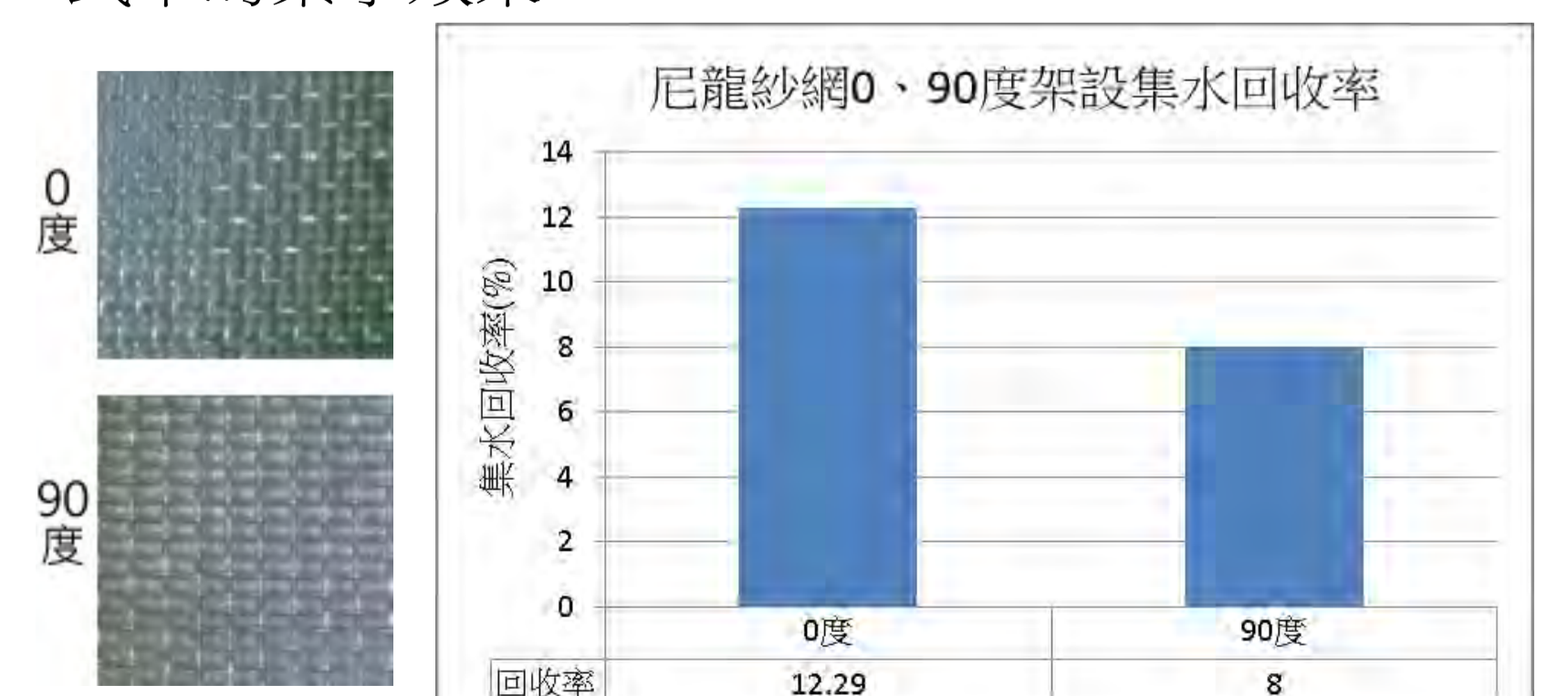
在四種遮蔽率下集水效果皆為 0 度架設優於或等於 90 度。其中 50%、60% 遮蔽率的針織遮光網在改變架設角度的回收率差異較大，因此我們拍攝 60% 遮蔽率網的 0 度和 90 度架設時網面的水珠，結果如右表。

網子名稱	針織遮光網60% 0度	針織遮光網60% 90度
網面部分放大圖觀察		

1. 0 度架設時網線的斜率較 90 度時大，滑落快。
2. 在 90 度架設下，水珠滑落時單位長度內受到較多橫向網線阻礙，導致每一水珠滑落時間較長，降低整體的集水效率。

四-2 透明尼龍紗網的架設方向

尼龍紗網網孔中兩邊長度差異較大，因此選擇使用集水效果好的44目(二-2)，比較0、90度兩種架設方式下的集水效果。

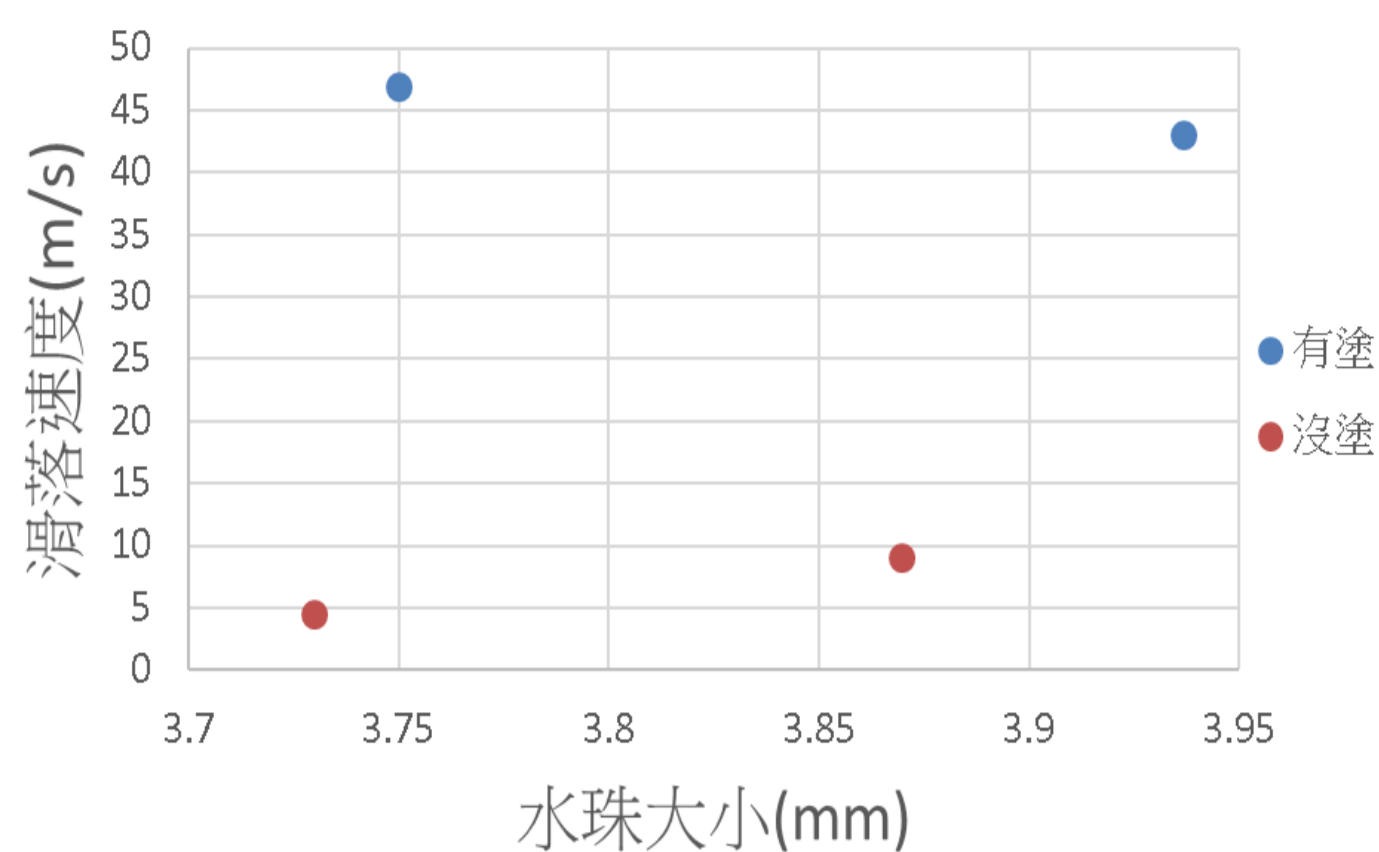


44 目透明尼龍紗網原架設方向(0 度)的網孔水平向長度較垂直向長，轉為 90 度後變成水平向長度較垂直向長。我們推測使垂直向長度大於水平向的長度，能使集水效率增加。

【實驗五】探討應用疏水塗料對捕霧網集水效率的影響

1: 確認防水噴劑是否改變網面疏水性

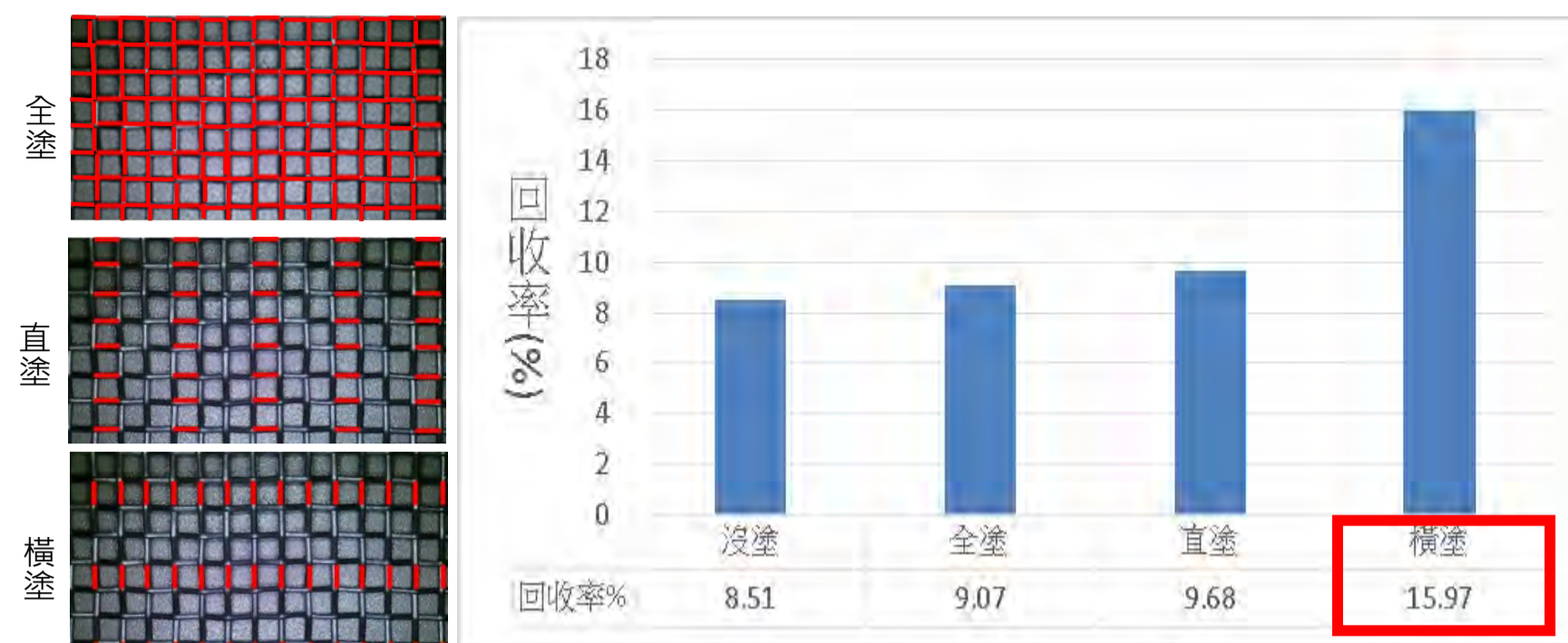
實驗步驟同實驗一-2，比較水珠在有無塗料的網線上的滑落速度。



在單一網線增加塗料後其上的水珠平均滑落速度可從約 8m/s 提升至 45m/s，證實此塗料可加速網面水珠的滑落。

2: 探討塗佈方向與集水效果之關係

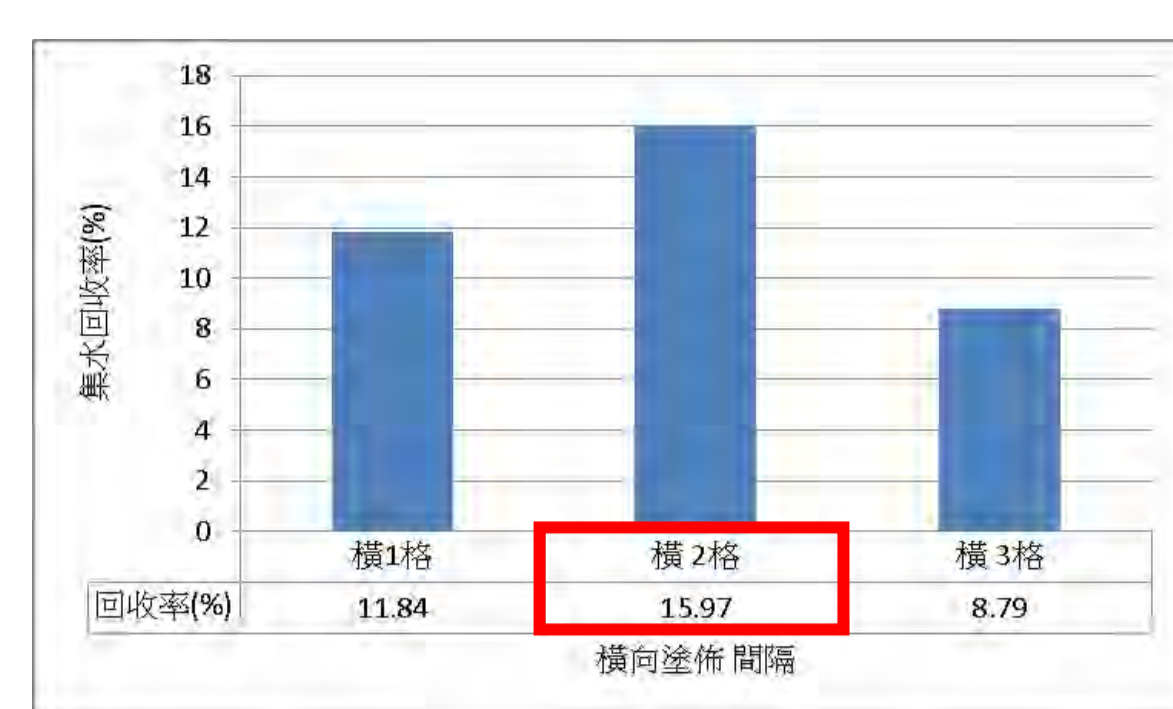
比較下圖所示之三種塗法(紅線表示網線上有塗料的位置)在集霧裝置內的集水回收率。



全部塗佈對集水回收率無明顯影響，原因推測為疏水材質可使水珠滑落速度增快，但會降低網面對霧氣的吸附力。而橫向塗法的集水效果好，推測為此種方式僅降低部分網線吸附力，不妨礙水珠的增長並加速水珠滑落速度。

3: 探討塗佈間隔與集水效果之關係

以三種不同間距塗佈塗料在水平向的網線上，測試在實驗裝置中 30 分鐘的集水回收率。



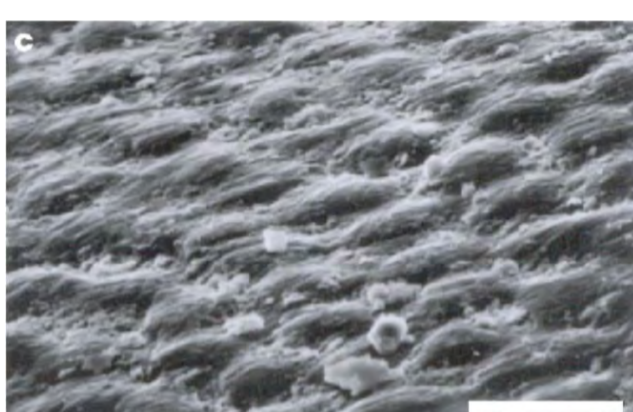
實驗結果以 2 格間距塗佈的集水效果最好，推測是 2 格塗佈時其間距約 2.7mm。在實驗二-3 中觀察到在網面上水珠須達直徑 2.5mm-3.5mm 時方可滑落，因此此間隔可讓水珠能順利增長至滑落所需大小。

伍、研究討論

一、捕霧網與甲蟲沐霧行為之集水過程比較



沐霧甲蟲雌性成蟲背部翅鞘



凹陷區域表面紋理

霧

吸聚

小水珠

聚合

大水珠

脫落

水

1. 網目多可增加霧氣可攀附的面積
2. 親水性高、粗糙表面增加網面吸附霧氣力
3. 網孔的短邊邊長侷限了吸聚水珠尺寸上限，水珠直徑會影響水珠增長速度(討論二)，進而影響自網面上脫落時間。

網孔間交叉凸起的網線，會使小水珠較難與鄰近的小水珠結合。在以下 2 種特性的網面上易有此現象：

1. 網目過多
2. 編織方式複雜

具有以下特性的網面，可加速水珠脫落，增加集水效率：

1. 垂直向網線材質疏水性佳
2. 長形網孔，長寬比例約 1.7 (討論三)

二、水珠滑落受力因素及影響因素分析

捕霧網回收率與小水珠能迅速成長並且快速落下有極大的相關。水珠成長的過程中，水珠的表面積越大則能增加吸附面積使其重量增加較快而能快速落下。

(1) 加速水珠下落的因素: 球狀水珠表面積

$$4\pi r^2$$

(2) 造成水珠滯留的因素: 為水滴與網線之界面產生張力，其大小與接觸長度相關，約略為 r

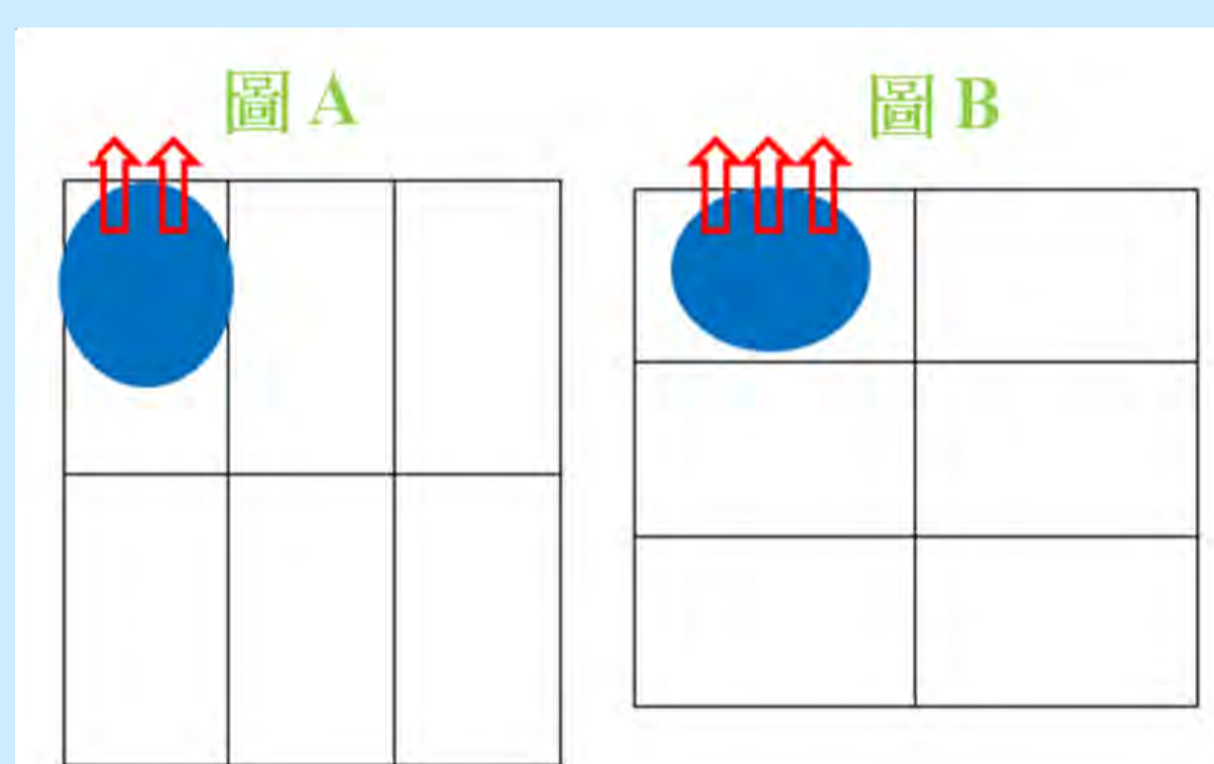
綜合(1)(2)，抵銷後影響滑落的因素為 $4\pi r$ 。因此半徑 r 較大的水珠，增長快，也更快掉落。

三、網格長寬排列與水珠滑落速度之分析

透明尼龍紗網(實驗四-3)及 50%、60% 的針織遮光網(實驗四-1)中網孔形狀趨近於長方形，且兩種特殊網孔皆為長邊垂直地面架設的集水回收率高。以 44 目透明尼龍紗網的長方形網孔分析，圖 A 為將長方形網孔長邊垂直地面架設，圖 B 將長方形網孔短邊垂直地面架設：

(1) 紗網網孔長短邊的比例為 1.7:1。若網子高度為 L ，則在水珠落下過程中，在圖 A 和圖 B 遇阻礙的次數比可視為 $(L/1.7):(L/1)$ ，圖 A 中水珠遭遇網線阻礙次數少。

(2) 以一顆水珠當下受力情形作探討，兩張圖中水珠所受重力接近，而圖 A 的水珠與網線介面接觸長度較少，因此向上的張力較圖 B 小，因而造成水珠下落的速度快。



陸、實驗結論

- 一、在捕霧網中網孔較短邊長度大於 0.5mm 時，網目愈多集水效率愈高；低於 0.5mm 時，霧氣吸聚形成的小水珠易侷限在網孔內，形成數量多但尺寸小的水珠，降低整體增長速度，影響集水效率。
- 二、當捕霧網的網孔長度長寬不同時，架設的方向會影響到集水效率。以網孔中較長的一邊作為垂直地面方向時集水效果較好，與較短邊垂直地面架設的集水回收率差異可達 3.7~5.7%。在 0 度與 90 度架設下，遮蔽率 50%、60% 針織遮光網、44 目透明尼龍紗網等三種網子的集水率差異分別為 5.7%、3.7%、4.3%。
- 三、網面材料的疏水性不利於霧氣的吸附，但是能加速水珠滑落。以 16 目尼龍鐵絲網為例，在綜合考量後我們將疏水塗料以 2.7mm 間距塗佈在垂直向的網線上，使該網可提升 7.5% 的回收率。
- 四、(1) 霧氣吸聚成小水珠受網目數、網線吸附霧氣能力及網孔的面積影響
(2) 小水珠聚合成大水珠的過程受網目數和網子的編織方式影響
(3) 大水珠自網面滑落至集水盒的速度受網面材質疏水性及網格垂直向和水平向長度比影響
- 五、本實驗中不鏽鋼網 24 目和遮蔽率 60% 的針織遮光網(0 度架設)有最高的回收率，約 16%。兩者共同適合集水的條件為：具有良好疏水性、單位面積的網孔數較多，但網孔尺寸利於水珠增大脫落。

柒、參考資料

- 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、楊久慧 (2014)。仿生沐霧機制之建築外殼集水構件之探討。國立臺北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文，台北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/7b9a53>
- 三、張泉湧(譯) (1995)。普通氣象學(原作者:小倉義光)。臺北市:國立編譯館