

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第三名

080832

霧網恢恢 「疏」而不「漏」

—捕霧網的探究與應用

學校名稱：國立臺南大學附設實驗國民小學

作者： 小五 莊舒涵 小五 葉恩瑤 小五 葉恩瑄 小五 劉昱君 小五 蔡智雅	指導老師： 林士揚 廖俊達
---	-----------------------------

關鍵詞：捕霧網、網孔、水牆效應

摘要

使用我們設計的捕霧裝置可以用來測定各種捕霧網的捕霧效率，發現網孔大小會影響捕霧效果，網孔太小會形成「水牆效應」不利於捕霧。另外複雜編織法的塑膠網捕霧效果較佳，不過隨著捕霧時間的拉長，捕霧效率會降低。捕霧網的層數對捕霧效率的助益不大，考量成本與效益，使用單層園藝用黑色塑膠網遮蔽率 50%或 60%製作捕霧網即可。風向、架設高度和風速會影響捕霧的效率，正對風向且捕霧網高度較高效率較佳，至於風速不可過慢，不然霧容易積聚在網子四周而不利集水，但風速過快也會使霧不及集結成水珠而無法集水。我們在嘉義隙頂做了捕霧網的實地測試，獲得良好的成效，證明在台灣某些特定地點因地形的微氣候，適合捕霧網的設置。

壹、研究動機

旅行中，我們參觀了蘭陽博物館的特展，「聽水的故事展」-認識水的科學、文明與未來，了解到地球的水資源相當有限，在水資源問題最嚴重的非洲，婦女及小孩平均每天花 6 小時並且走上約 6 公里的路，就為了取水。特展中介紹了沐霧甲蟲【納米比甲蟲】，生活在年降雨量不超過 100 毫米的納米比亞沙漠，每當有濃霧出現時，納米比甲蟲會到山丘上運用背部的親水性和疏水性交錯的結構，捕霧集成水珠生存，這激發了人類研發收集霧氣的捕霧網，以提供飲水或灌溉。四年級自然課中，老師介紹了水的三態，我們學到了雨水和霧只是顆粒大小不同的「液態水」，這更引發了我們的好奇心。想用日常可取得的塑膠網，研究怎麼樣的網孔大小、編織方式和層數做成的捕霧網最能收集霧水，怎樣的環境條件下捕霧網最能發揮功效。除了可以應用在高山缺水地區如：登山木屋，或許在氣候變遷劇烈的未來，在水資源短缺時，也可以應用簡易製作的捕霧網來集水，協助解決台灣的水資源問題。

貳、研究目的

- 一、設計可以進行捕霧網實驗測試的實驗裝置
- 二、測試適合製作捕霧網網子的網孔大小
- 三、測試適合製作捕霧網網子的編織方式
- 四、測試捕霧網的層數對捕霧效果的影響
- 五、測試適合進行捕霧的環境條件（風向、風速）
- 六、設計戶外實測模組並實地測試捕霧網在台灣應用的可行性

參、研究設備及器材

- 一、噴霧器（京華超音波噴霧器 KUN-868，霧化顆粒直徑 3~8 微米）1 部、蒸餾水 1 桶。
- 二、50、100 毫升小燒杯各 1 個，10、25、50、100、250 毫升量筒各 1 個。
- 三、滴定管架 2 個、木條 1 小塊（寬度 2.5 公分、長度 11 公分）、透明塑膠波浪板 1 小片。
- 四、滴管 2 根、定時器 2 個、紙抹布 8 片、長尾夾 10 個、白色塑膠瓦楞板 1 片、風速計。
- 五、園藝用黑色塑膠網布（市售遮蔽率 50%、60%、70%、80%）、淺色塑膠紗網（網目 15、20、32）。
- 六、剪刀、縫衣針、黑色縫衣線、淺色縫衣線、寬版絕緣膠帶（4.8 公分寬）、熱熔槍、熱熔膠。
- 七、方格紙、鋁箔紙、紙箱、大鐵釘（1-1/2"，實際用游標尺測定，直徑為 2.2mm、長度 39.2mm）、小銅釘（5 分，實際用游標尺測定，直徑為 1.2mm、長度 14.8mm）、白色塑膠泡棉 1 小片（長 5cm、寬 3cm）、橡皮筋、鑷子。
- 八、數位式解剖顯微鏡（型號 Nikon SMZ745）、Truechrome II、電腦軟體 IS Capture。
- 九、塑膠整理箱（長 58cm、寬 47cm、高 40cm）、鑽孔器、美工刀、硬塑膠管（管子內徑 17.2mm、外徑 22.2mm）、透明可彎式塑膠管（管子內徑 21mm、外徑 22mm）、桌上型電風扇。
- 十、PVC 集水管（口徑寬 2.7cm 長 70cm）2 根、PVC L 型彎頭、管塞各 2 根、塑膠水管 2 條、L 型+U 型自製固定扣環、活動衣架（尺寸：90~150cm(高)x90cm(寬)x44(深)）2 組、塑膠集水罐 2 個、斜口鉗、美工刀、膠布、螺絲起子、捲尺、尼龍紮線帶 120x2.5mm。



圖 1：研究裝置器材圖

肆、研究過程及方法

一、設計捕霧網實驗裝置與捕霧步驟

(一) 製作捕霧網

1. 首先以白色硬紙板製作捕霧網的模型版（如圖 2），以便製作固定尺寸的捕霧網。

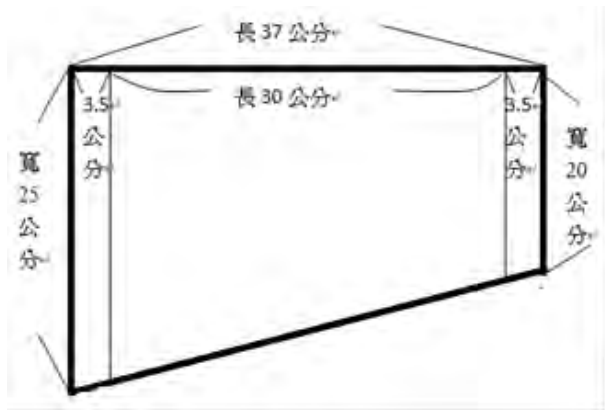


圖 2：捕霧網模型版



圖 3:捕霧網架與集水管

2. 以剪刀將不同遮蔽率的園藝用黑色塑膠網布，依模型版大小剪下，然後分別在寬 20 公分、25 公分的邊緣反折（約 1.7 公分處），用黑色縫衣線縫合出可套入滴定管架的管套（使管套寬約 1.7 公分），以方便捕霧網的 2 邊能套入滴定管架固定，並留下面長約 30 公分寬的網面。
3. 以剪刀將不同網目的淺色塑膠紗網，依模型版大小剪下，因紗網為簡易十字編織法（織法不如園藝網複雜），邊緣容易脫線，所以紗網的兩側改以寬版絕緣膠帶（4.8 公分寬）對摺黏合。

(二) 製作捕霧網架

1. 將 2 個滴定管架面對面擺置，2 個滴定管架底部中央再用一塊寬度 2.5 公分、長度約 11 公分的小木板分隔，使 2 個滴定管架的金屬棒之間距離為 30 公分。
2. 裁下一段長度 45 公分的透明塑膠波浪板的凹槽，在塑膠波浪板凹槽上用鑽孔機鑽出 2 個洞，2 洞距離約 32 公分，1 端留短邊 3 公分，另 1 端留長邊 10 公分，套入 2 個滴定管架後用熱溶膠固定並密封孔隙，距離滴定管架底部的高度，長邊為 5 公分，短邊為 8 公分，形成一邊低一邊高的集水管（如圖 3）。

(三) 集霧步驟

1. 將遮蔽率 50%園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網套上滴定管架，用 4 個長尾夾分別將捕霧網頂端固定在距滴定管架底部高度 30 公分處。
2. 將噴霧器放置在捕霧網正前方，噴口正對捕霧網中央，距離網子 20 公分，以中速噴霧（以風速計測得，在網子前方風速為 0.8m/s）收集霧氣 10 分鐘，為了維持每次實驗擺放器材的位置一致性，先在一片白色塑膠瓦楞板上標示好噴霧器和滴定管架的位置（做為定位板，如圖 4）。
3. 以 100 毫升燒杯接取集水管流出的水，同時於 10 分鐘噴霧時間一到，以滴管收集集水管及捕霧網上凝結的水珠，並且以量筒測量集水量。



滴定管架:用來固定捕霧網

噴霧器:用來產生霧氣

捕霧網:用來收集霧氣

透明塑膠波浪板凹槽:用來當集水管，收集捕霧網聚集的水滴

白色塑膠瓦楞板:用來當定位板，固定滴定管架與噴霧器的距離

圖 4:定位板與集霧設備裝置圖

二、 比較不同編織法與遮蔽率塑膠網的捕霧效率

(一) 園藝用黑色塑膠網（又稱百吉網）

1. 將不同遮蔽率（50%、60%、70%、80%，遮蔽率越大網孔越小）園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網套上滴定管架。
2. 以中速噴霧（網前風速為 0.8m/s）分別收集霧氣 10、20、30 分鐘。
3. 以 100 毫升燒杯接取集水管流出的水，並且以量筒測量集水量。

(二) 淺色塑膠紗網

1. 將不同網目（網目 15、20、32，數字越大網孔越小）淺色塑膠紗網製成的捕霧網。
2. 以中速噴霧（網前風速為 0.8m/s）收集霧氣 10、20、30 分鐘。

3. 以 100 毫升燒杯接取集水管流出的水，並且以量筒測量集水量。

(三) 實際測量園藝用黑色塑膠網與淺色塑膠紗網的網孔大小

1. 將網子平放，以數位式解剖顯微鏡拍攝不同網子的網孔（物鏡倍率 0.67 倍，配合 Truechrome II），然後用電腦軟體 IS Capture 測量不同遮蔽率黑色塑膠網（50%、60%、70%、80%）與不同網目（15、20、32）淺色塑膠紗網的網孔大小，然後計算平均值。
2. 分別比較網孔大小以及不同編織法對捕霧網集水效率的影響。

三、 比較網孔大小對捕霧網集水效率的影響

(一) 以鋁箔紙製作 2 種網孔大小的鋁箔紙捕霧網

1. 用油性筆在方格紙上以固定距離打點，繪製出固定密度的網點圖（大小規格如前述塑膠捕霧網），然後影印數張備用（如圖 5）。
2. 以前述製作捕霧網的模型板大小裁切數張鋁箔紙備用。
3. 鋁箔紙上方重疊網點圖用紙膠帶固定在紙板上，以大鐵釘（直徑 2.2mm）或小銅釘（直徑為 1.2mm）依照網點位置穿出固定大小和密度的網孔，即成鋁箔紙捕霧網（如圖 6）。

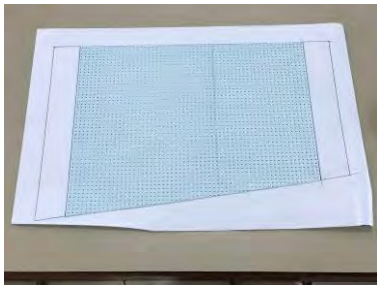


圖 5:固定密度的網點圖



圖 6:鋁箔紙捕霧網



圖 7:自製推水器

(二) 測試 2 種網孔大小的鋁箔紙捕霧網集水效率

1. 將 2 種網孔大小的鋁箔紙捕霧網，兩側各以 2 個長尾夾固定在滴定管架，以中速噴霧（網前風速 0.8m/s）收集霧氣 10 分鐘。
2. 以 100 毫升燒杯接取集水管流出的水，同時於 10 分鐘時間一到後，以自製推水器（用鑷子前端夾塑膠泡棉，以橡皮筋固定（如圖 7））將鋁箔紙捕霧網表面集結水珠推落至集水管，以滴管收集水滴並以量筒測量集水量。

四、 比較不同層數捕霧網集水的效率

(一) 2 層數的捕霧網集水的效率：直接重疊兩層捕霧網測試

1. 以遮蔽率 50%、80%園藝用黑色塑膠網製成的捕霧網重疊 2 層（第二層網長 30 公分，以黑色縫衣線與第一層縫合），以中速噴霧（風速為 0.8m/s）收集霧氣 10、20、30 分鐘。
2. 以網目 15、32 淺色塑膠紗網製成的捕霧網重疊 2 層（第二層網大小同第一層網，以淺色縫衣線將兩層網縫合），以中速噴霧（風速為 0.8m/s）收集霧氣 10、20、30 分鐘。

(二) 3 層數的捕霧網集水的效率：直接重疊三層捕霧網測試

1. 以遮蔽率 50%、80%園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網重疊 3 層（第二、三層網長 30 公分，以黑色縫衣線與第一層網縫合），以風速 0.8m/s 收集霧氣 10、20、30 分鐘。
2. 以網目 15、32 淺色塑膠紗網製成的捕霧網重疊 3 層（第二、三層網大小同第一層網，以淺色縫衣線將三層網縫合），以風速 0.8m/s 收集霧氣 10、20、30 分鐘。

(三) 比較 1、2、3 層數捕霧網在 10、20、30 分鐘捕霧時間的集水量變化。

五、 比較風向、架設高度與風速變化對捕霧網集水效率的影響

(一) 比較風向與架設高度對捕霧網集水效率的影響

1. 比較風向來自側面對集水效率的影響

(1) 將噴霧器放置在遮蔽率 50%黑網左前方，使噴口與左側網夾角 45 度，噴口距離網子仍為 20 公分，以中速噴霧（0.8m/s），收集霧氣 10 分鐘。

(2) 將噴霧器放置在遮蔽率 50%黑網左前方，使噴口與左側網夾角 30 度，噴口距離網子仍為 20 公分，以中速噴霧（0.8m/s），收集霧氣 10 分鐘（如圖 8）。

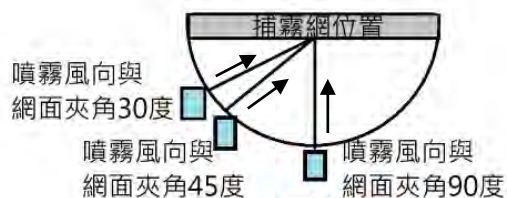


圖 8:改變噴霧風向圖

2.比較捕霧網架設的高度對集水效率的影響

(1) 將噴霧器以書本墊高約 5 公分，使噴口對

準捕霧網上方 1/3 處，將遮蔽率 50%園藝用黑色塑膠網捕霧網以中速噴霧（0.8m/s），收集霧氣 10 分鐘。

(2) 改將滴定管架以書本墊高 5 公分，使噴口對準網子下方 1/3 處，收集霧氣 10 分鐘。

(二) 比較風速變化對捕霧網集水效率的影響

1. 開放式空間集霧：將桌上型電扇架設在噴霧器噴霧口正下方（電扇用盒子墊高 3.5 公分），以遮蔽率 50%園藝用黑色塑膠網捕霧網用不同風速（噴霧器內置風扇加上桌上型電扇（風速按鈕 0、1、3），以風速計測得網子前方風速分別為 0.8m/s（稱風速 1）、2.6m/s（稱風速 2）、3.5m/s（稱風速 3））收集霧氣 10 分鐘。
2. 半封閉式空間集霧（整理箱集霧設備）：由於實驗時周遭環境的氣流也可能影響霧的風速，為了做出能不受環境干擾的捕霧網實驗設備，我們又設計了另一套捕霧裝置。
 - (1) 以塑膠整理箱（長 58cm、寬 47cm、高 40cm）用鑽孔器和美工刀在箱子較窄的一側上方開 1 個小圓洞(直徑 2.2cm)接噴霧器用，下方再開 1 個大圓洞(直徑約 10cm)用以當成桌上型電扇的入風口，對側則開 1 個長方形大孔（長 36.5cm、寬 28.5cm）以方便霧氣在通過捕霧網後能離開箱子，箱子側邊下方開 1 個小圓洞(直徑約 2.2cm)使壓克力集水管可將水導至箱外的 50 毫升小燒杯中。
 - (2) 以硬塑膠管（長度 10cm）及透明可彎式塑膠管（長度 15cm）連接噴霧器出霧口（連接後總長 24cm，管子伸入箱中的長度為 7cm），將噴霧器以書本墊高約 5 公分，把霧氣直接導入整理箱中，噴霧口至捕霧網距離 25 公分。
 - (3) 以遮蔽率 50%園藝用黑色塑膠網布製成捕霧網，用塑膠束帶和塑膠環固定在箱子中央，用不同風速（噴霧器內置風扇加上桌上型電扇（風速按鈕 0、1、3），以風速計測得網前風速分別為 0.1m/s（稱風速 1）、1.8m/s（稱風速 2）、3.1m/s（稱風速 3））收集霧氣 20 分鐘（如圖 9）。



圖 9：整理箱集霧設備

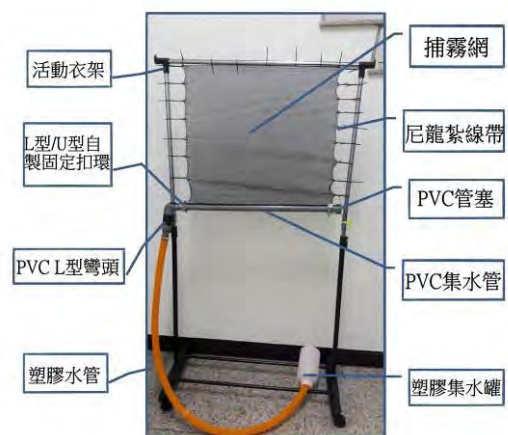


圖 10：簡易可拆式攜帶型捕霧設備

六、設計戶外實測模組並實地測量

(一)、**簡易可拆式攜帶型捕霧設備**：為驗證捕霧網在台灣是可實際應用在日常生活中，因此我們設計出簡易可拆式攜帶型捕霧設備，預備選擇合適地點進行實測。

1. 先將活動式衣架組裝完成。
2. 裁剪預測尺寸(60%園藝用黑色塑膠網 60cm(寬)x50cm(長), 75cm(長)x75cm(寬)各 1 張)的網子，並利用紮線帶將網子上、左、右 3 邊以尼龍紮線帶束緊固定。
3. 利用 L 型+U 型自製固定扣環將 PVC 集水管固定好並調整左右高度，PVC L 型彎頭處位置需要較低傾斜角，以利水順勢流至集水罐內，最後將 PVC L 型彎頭連接至塑膠水管和集水罐即完成(如圖 10)。

(二)、**選擇合適地點進行實測**：由實驗結果推測，成功捕霧的條件除了環境有霧外還必須有風速帶動霧通過捕霧網，根據我們實地的觀察，我們發現嘉義的隙頂非常合適，因此我們選定此處，將簡易可拆式攜帶型捕霧設備進行實地測試。

伍、研究結果

一、設計捕霧網實驗裝置與捕霧步驟

(一) 由市售遮蔽率 50%的園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網經過多次測定，10 分鐘的捕霧集水量數值多位於 14 毫升左右，證明我們的捕霧裝置應該可行。(不過因噴霧器出霧量並不穩定，我們決定多次測定後再去除掉極端數據，每次取 5 次數據計算平均值)

表 1：第一次測試結果

次數	1	2	3	4	5	平均
收集水量(毫升)	14.0	14.0	15.0	14.0	13.5	14.1

表 2：第二次測試結果

次數	1	2	3	4	5	平均
收集水量(毫升)	15.0	14.0	13.5	17.5	13.0	14.6

二、 比較不同編織法與遮蔽率塑膠網的捕霧效率

(一) 園藝用黑色塑膠網（又稱百吉網）

1. 以不同遮蔽率（市售遮蔽率 50%、60%、70%、80%）黑色塑膠網製成的捕霧網，進行 10 分鐘捕霧效果比較，結果以遮蔽率 50%、60%集水量較多，80%集水量最少。

表 3：不同遮蔽率捕霧網 10 分鐘捕霧效果的比較（集水量單位：毫升）

次數 遮蔽率	1	2	3	4	5	平均
50%	15.0	14.0	13.5	17.5	13.0	14.6
60%	13.0	15.0	15.0	14.0	15.5	14.5
70%	14.0	13.5	14.0	13.0	15.0	13.9
80%	9.9	11.0	11.0	11.0	10.5	10.7

2. 以不同遮蔽率黑色塑膠網製成的捕霧網，進行 20 分鐘補霧效果的比較，結果仍以遮蔽率 50%、60%集水量較多，80%集水量最少。

表 4：不同遮蔽率捕霧網 20 分鐘捕霧效果的比較（集水量單位：毫升）

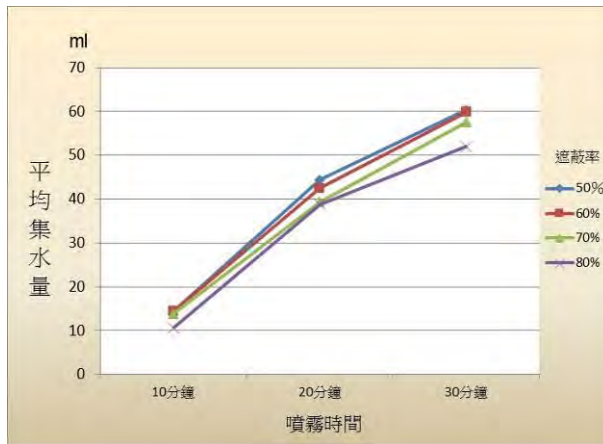
次數 遮蔽率	1	2	3	4	5	平均
50%	43.0	46.0	44.5	46.5	42.0	44.4
60%	39.0	44.5	42.5	46.5	40.0	42.5
70%	39.0	41.0	42.0	39.0	36.0	39.4
80%	34.0	39.0	42.0	36.0	38.5	38.8

3. 以不同遮蔽率黑色塑膠網製成的捕霧網，進行 30 分鐘補霧效果比較，結果仍以遮蔽率 50%、遮蔽率 60%集水量最多，80%集水量最少。

表 5：不同遮蔽率捕霧網 30 分鐘捕霧效果的比較（集水量單位：毫升）

次數 遮蔽率	1	2	3	4	5	平均
50%	66.0	60.0	56.0	61.5	58.0	60.3
60%	65.0	58.0	57.0	61.0	58.0	59.8
70%	54.0	57.0	62.0	57.5	57.5	57.6
80%	50.0	51.1	50.0	53.0	55.7	52.0

4. 比較不同遮蔽率園藝用黑色塑膠網製成的捕霧網，在不同時間捕霧量的變化（如圖 11），可以看到**隨著霧水收集時間拉長，在 20 分鐘到 30 鐘之間的集霧效率略為變差。**



橫軸：噴霧時間
 縱軸：平均集水量
 四條折線分別代表
 四種遮蔽率

圖 11：不同遮蔽率園藝用黑色塑膠網製成的捕霧網，在不同時間的捕霧量變化

5. 我們觀察不同遮蔽率黑色塑膠網，出現水珠及掉落至集水管的時間明顯不同，遮蔽率低的網子（50%）出現水珠及掉落的時間比較晚，但掉落的水珠比較大顆，遮蔽率高的網子（80%）出現水珠及掉落的時間比較早，但掉落的水珠比較小顆（如圖 12）。

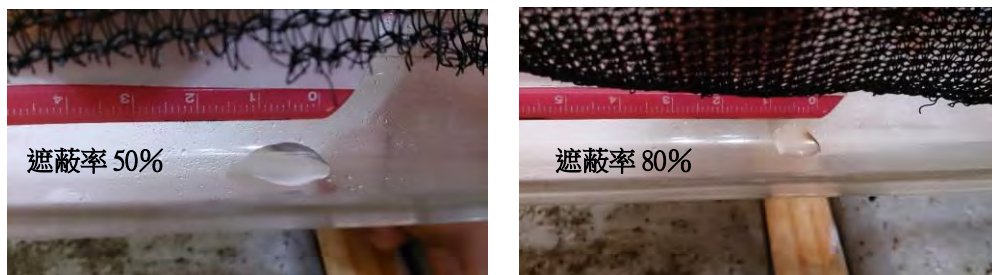


圖 12：遮蔽率 50%網子滴落集水管的水滴與遮蔽率 80%網子滴落集水管的水滴

6. 實驗中觀察霧氣穿越網的過程，發現遮蔽率 50%和 60%的網子，讓霧氣穿過的狀況沒有明顯的差異，霧氣皆能往前再擴散一段距離（如圖 13）。然而，**遮蔽率 70%和 80%的網子，霧氣在穿過網子時比較不能順暢通過，很多霧氣皆在網前反彈**（如圖 14）。



圖 13：遮蔽率 50%霧氣通過的情形



圖 14：遮蔽率 80%霧氣通過的情形

(二) 淺色塑膠紗網

1. 以不同網目(網目 15、20、32，數字越大網孔越小)的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，進行 10 分鐘捕霧效果的比較，結果以網目 15 集水量最多，網目 32 集水量最少。

表 6 不同網目淺色塑膠捕霧網 10 分鐘捕霧效果的比較 (集水量單位：毫升)

次數 網目	1	2	3	4	5	平均
15	14.0	18.0	18.0	17.5	14.5	16.4
20	12.0	12.0	13.5	13.0	11.0	12.3
32	6.0	6.8	6.9	7.9	7.8	7.1

2. 以不同網目(網目 15、20、32)的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，進行 20 分鐘捕霧效果的比較，結果仍以網目 15 集水量最多，網目 32 集水量最少。

表 7 不同網目淺色塑膠捕霧網 20 分鐘捕霧效果的比較 (集水量單位：毫升)

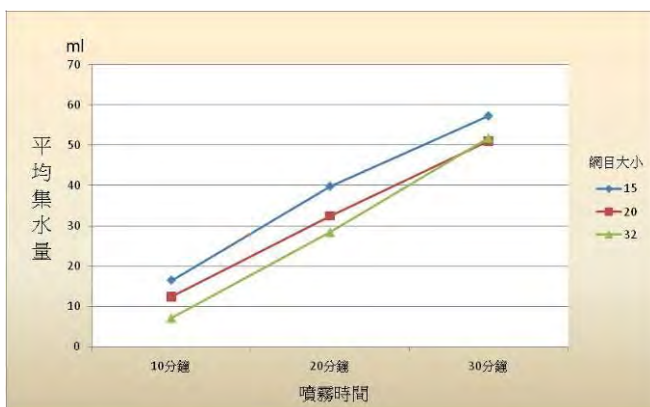
次數 網目	1	2	3	4	5	平均
15	37.0	36.5	39.0	47.0	39.5	39.8
20	39.0	31.0	27.0	27.0	38.0	32.4
32	23.0	25.0	31.5	29.0	33.5	28.4

3. 以不同網目(網目 15、20、32)的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，進行 30 分鐘捕霧效果的比較，結果仍以網目 15 集水量最多，但網目 20 和 32 集水量約略相同。

表 8 不同網目淺色塑膠捕霧網 30 分鐘捕霧效果的比較 (集水量單位：毫升)

次數 網目	1	2	3	4	5	平均
15	55.5	61.0	57.0	56.5	56.5	57.3
20	53.0	53.0	50.0	49.0	50.0	51.0
32	52.0	54.5	53.0	50.0	49.5	51.8

4. 比較不同網目(網目 15、20、32，數字越大網孔越小)淺色塑膠紗網製成的捕霧網，在不同時間捕霧量的變化(如圖 15)，可以看到隨著收集時間拉長，集水量大致成比例增加，但拉長收集時間至 30 分鐘時，網目 20 和 32 集水量相近。



橫軸：噴霧時間

縱軸：平均集水量

三條折線代表三種網目

(網目越大網孔越小)

圖 15：不同網目淺色塑膠紗網製成的捕霧網，在不同時間捕霧量的變化

5. 實驗中觀察霧氣穿越紗網的過程，發現網目 15 和網目 20 讓霧氣穿越的過程沒有明顯的差異，霧氣皆能往前再擴散一段距離（如圖 16、圖 17）。而網目 32，霧氣在穿過紗網時比較不能順暢通過，穿過紗網之後的霧氣量明顯減少而且速度減緩（如圖 18）。



圖 16：霧氣穿越網目 15 紗網 圖 17：霧氣穿越網目 20 紗網 圖 18：霧氣穿越網目 30 紗網

(三) 實際測量園藝用黑色塑膠網與淺色塑膠紗網的網孔大小



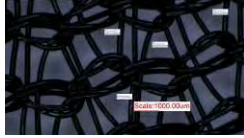

1. 園藝用黑色塑膠網：由於編織較複雜，形成的網孔其實大小不一，我們決定以大網孔來代表，取視野中四個大網孔來測量，由於網孔為不規則的多邊形，我們以能同時接觸到網孔三邊的圓形直徑來代表網子的網孔大小（如圖 19 所示），結果如下表 9：



圖 19：遮蔽率 50% 黑色塑膠網的網孔大小

	半徑 (mm)	直徑 (mm)
網孔 1	0.654	1.308
網孔 2	0.665	1.330
網孔 3	0.641	1.282
網孔 4	0.678	1.365
平均	0.660	1.320

表 9 不同遮蔽率黑色塑膠網的網孔平均直徑

遮蔽率	50%	60%	70%	80%
顯微照片				
網孔平均直徑	1.32mm	1.08mm	0.92mm	0.74mm

2. 淺色塑膠紗網：由於編織較簡單，形成的網孔大小較為一致，但約呈長方形，我們取視野中四個網孔來測量，一樣以能同時接觸到網孔三邊的圓形直徑來代表網子的網孔大小（如圖 20 所示），結果如下表 10：

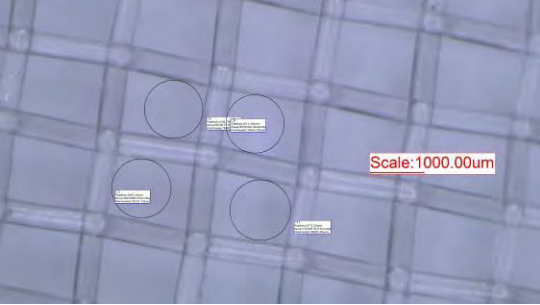
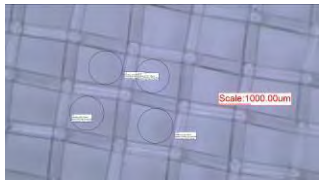
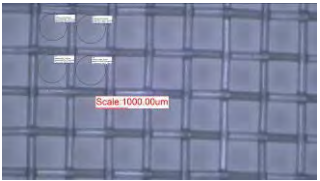
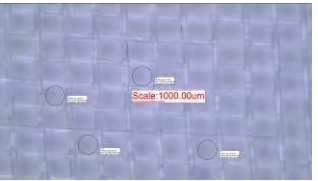
 <p>圖 20：網目 15 的淺色塑膠紗網網孔大小</p>		半徑 (mm)	直徑 (mm)
	網孔 1	0.550	1.100
	網孔 2	0.562	1.120
	網孔 3	0.551	1.100
	網孔 4	0.573	1.146
	平均	0.560	1.120

表 10：不同網目淺色紗網的網孔平均直徑

網目	15	20	32
顯微照片			
網孔直徑平均	1.12mm	0.92mm	0.74mm

(四) 比較網孔大小不同的捕霧網集水量的差異

1. 將園藝用黑色塑膠網和淺色塑膠紗網，試著直接以網孔大小排序去比較集水量的差異（如表 11，圖 21~23），結果發現網孔較大者不管是園藝用黑色塑膠網或淺色塑膠紗網，在集霧 10 分鐘、20 分鐘或 30 分鐘的集水量都較網孔較小者來的多。

表 11：網孔大小不同的捕霧網的集水量

網孔直徑大小 (mm)	1.32	1.12	1.08	0.92	0.92	0.74	0.74
塑膠網種類	黑網 遮蔽率 50%	淺網 網目 15	黑網 遮蔽率 60%	黑網 遮蔽率 70%	淺網 網目 20	黑網 遮蔽率 80%	淺網 網目 32
10 分鐘集水量 (ml)	14.6	16.4	14.5	13.9	12.3	10.7	7.1
20 分鐘集水量 (ml)	44.4	39.8	42.5	39.4	32.4	38.8	28.4
30 分鐘集水量 (ml)	60.3	57.3	59.8	57.6	51	52	51.8

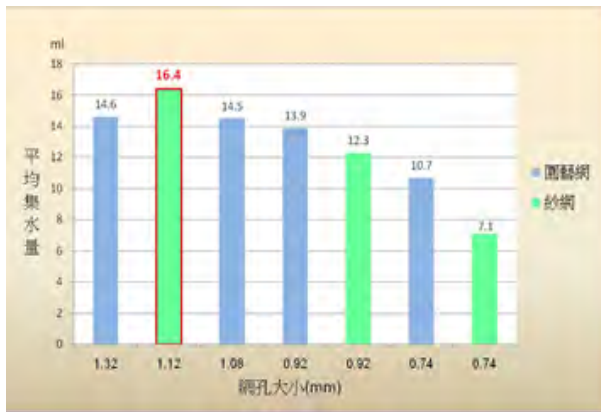


圖 21：網孔大小不同的塑膠網進行 10 分鐘捕霧效果的比較 橫軸：網孔大小 縱軸：平均集水量

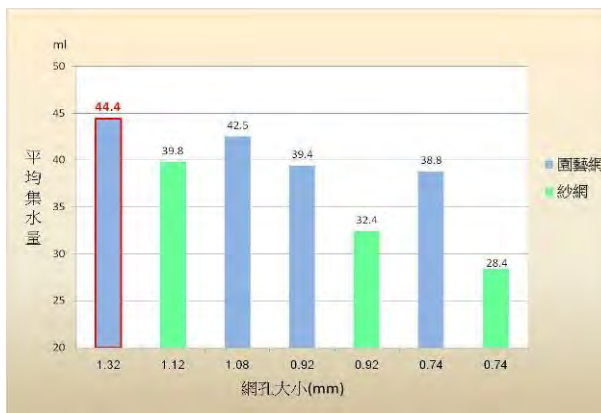


圖 22：網孔大小不同的塑膠網進行 20 分鐘捕霧效果的比較 橫軸：網孔大小 縱軸：平均集水量

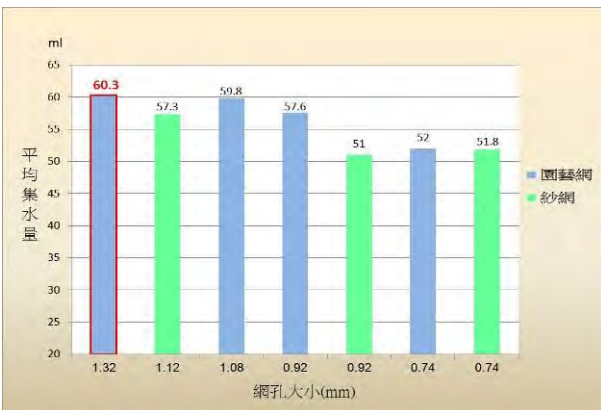


圖 23：網孔大小不同的塑膠網進行 30 分鐘捕霧效果的比較 橫軸：網孔大小 縱軸：平均集水量

2.比較不同網孔塑膠網製成的捕霧網，在不同捕霧時間集水量的變化趨勢（如圖 24），可以看到隨著收集時間拉長，集水量增加的速率有些變化，園藝黑色塑膠網以 10 分鐘到 20 分鐘集水效率較佳，20 分鐘過後網子集水效率都下降，但淺色塑膠紗網則變化不大。

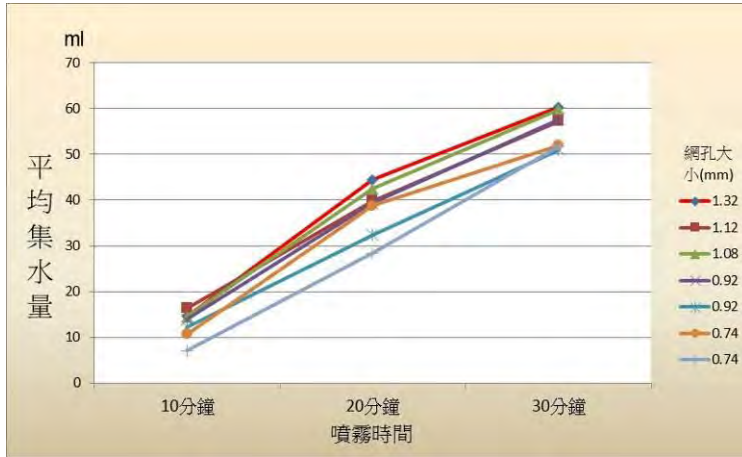


圖 24：不同網孔塑膠網製成的捕霧網，在不同捕霧時間集水量的變化

(橫軸：時間、縱軸：平均集水量，七條折線代表七種網孔)

(五) 以不同編織法比較集水量

1. 由於園藝用黑色塑膠網為屬於複雜的針織式編織法，而淺色塑膠紗網為較簡單的十字編織法，我們想用網孔大小近似的園藝用黑色塑膠網和淺色塑膠紗網比較一下，編織方法不同對霧水收集有何影響（如表 12，圖 25~27），我們發現除了在 10 分鐘集霧同網孔大小的淺色塑膠紗網網目 15 比黑色塑膠網遮蔽率 60%集水量多外(可能黑色塑膠網編織複雜較易將水留在網子隙縫，短時間較不易收集)，其餘同網孔大小的捕霧網大都是園藝用黑色塑膠網的集水量較多，但拉長收集時間時 2 者差距會變小。

表 12：比較網孔大小近似但編織法不同的捕霧網的集水量

網孔直徑大小 (mm)	1.08	1.12	0.92	0.92	0.74	0.74
塑膠網種類	黑網 遮蔽率 60%	淺網 網目 15	黑網 遮蔽率 70%	淺網 網目 20	黑網 遮蔽率 80%	淺網 網目 32
10 分鐘集水量(ml)	14.5	16.4	13.9	12.3	10.7	7.1
20 分鐘集水量(ml)	42.5	39.8	39.4	32.4	38.8	28.4
30 分鐘集水量(ml)	59.8	57.3	57.6	51.0	52.0	51.8

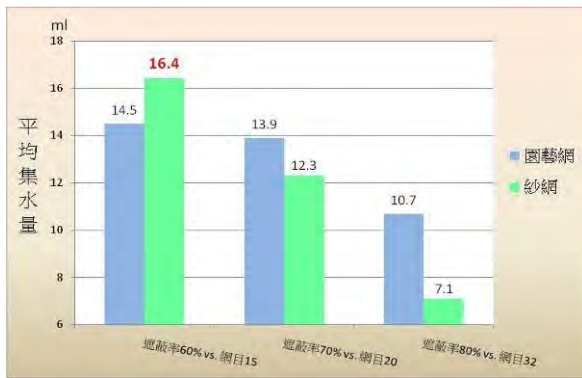


圖 25: 不同編織方法的捕霧網捕霧 10 分鐘的集水量

(橫軸：同網孔大小的捕霧網，藍色為園藝用黑色塑膠網、綠色為淺色塑膠紗網，縱軸：平均集水量)



圖 26: 不同編織方法的捕霧網捕霧 20 分鐘的集水量 (橫軸：同網孔大小的捕霧網，藍色為園藝用黑色塑膠網、綠色為淺色塑膠紗網，縱軸：平均集水量)



圖 27: 不同編織方法的捕霧網捕霧 30 分鐘的集水量 (橫軸：同網孔大小的捕霧網，藍色為園藝用黑色塑膠網、綠色為淺色塑膠紗網，縱軸：平均集水量)

三、 比較網孔大小對捕霧網集水的效率的影響

(一)以鋁箔紙製作不同網孔大小的捕霧網，進行 10 分鐘捕霧效果的比較(如表 13, 圖 28)，結果以大網孔(直徑 2.2mm)集水量較多，小網孔(直徑 1.2mm)集水量較少，沒有網孔的鋁箔紙集水量最少。

表 13 鋁箔紙捕霧網不同網目集水量

次數 網孔	次數					平均
	1	2	3	4	5	
大網孔	10.5	12.0	11.5	12.0	10.5	11.2
小網孔	7.7	8.2	8.1	8.3	7.7	8.0
無網孔	6.9	6.6	7.9	7.4	8.2	7.4

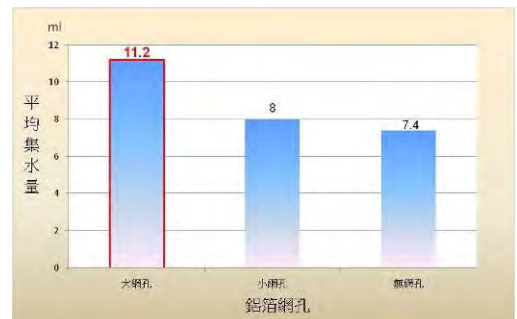


圖 28: 比較不同網目大小的鋁箔紙捕霧網的捕霧網，進行 10 分鐘捕霧效果 (橫軸：遮蔽率、縱軸：平均集水量)

四、比較不同層數捕霧網集水的效率

(一) 我們同時比較 1、2、3 層數捕霧網在 10、20、30 分鐘捕霧時間的集水量 (如表 14~17, 圖 29~34) 及不同捕霧時間集水量的變化趨勢 (如圖 35、36), 發現**遮蔽率 50% 黑色塑膠網, 重疊 2 層時集水量並沒有增加多少, 重疊到 3 層集水量甚至減少**, 遮蔽率 80%則在重疊 2 層時集水量有略為增加, 重疊到 3 層集水量也反而減少, 而淺色塑膠紗網則大多隨著層數增多集水量微量增多。集水量的變化趨勢大多以**10 分鐘到 20 分鐘集水效率較佳**。

表 14：比較遮蔽率 50%園藝用黑色塑膠網在不同層數捕霧網的集水量

塑膠網種類	捕霧時間	次數		1	2	3	4	5	平均
		網子層數							
園藝用黑色塑膠網 遮蔽率 50%	10 分鐘集水量 (ml)	一層		15.0	14.0	13.5	17.5	13.0	14.6
		二層		13.5	13.5	14.0	14.0	14.5	13.9
		三層		12.5	12.0	12.0	12.5	12.0	12.2
	20 分鐘集水量 (ml)	一層		43.0	46.0	44.5	46.5	42.0	44.4
		二層		45.0	45.0	44.0	42.5	46.0	44.5
		三層		41.0	42.0	41.5	40.0	40.5	41.0
	30 分鐘集水量 (ml)	一層		66.0	60.0	56.0	61.5	58.0	60.3
		二層		53.7	66.0	61.0	59.0	58.0	59.5
		三層		64.0	63.0	56.0	53.0	54.0	58.0

表 15：比較遮蔽率 80%園藝用黑色塑膠網在不同層數捕霧網的集水量

塑膠網種類	捕霧時間	次數		1	2	3	4	5	平均
		網子層數							
園藝用黑色塑膠網 遮蔽率 80%	10 分鐘集水量 (ml)	一層		9.9	11.0	11.0	11.0	10.5	10.7
		二層		11.5	11.0	10.5	12.5	12.0	11.5
		三層		8.3	8.7	9.3	8.6	9.0	8.8
	20 分鐘集水量 (ml)	一層		34.0	39.0	42.0	36.0	38.5	38.8
		二層		44.5	45.0	40.0	43.0	40.0	42.5
		三層		36.5	38	35.5	39.5	36.5	37.2
	30 分鐘集水量 (ml)	一層		50.0	51.1	50.0	53.0	55.7	52.0
		二層		63.0	56.5	58.0	56.5	56.5	58.1
		三層		50.0	52.5	50.5	55.0	51.0	51.8

表 16：比較網目 15 淺色塑膠紗網在不同層數捕霧網的集水量

塑膠網種類	捕霧時間	次數		1	2	3	4	5	平均
		網子層數							
淺色塑膠紗網 網目 15	10 分鐘集水量 (ml)	一層		14.0	18.0	18.0	17.5	14.5	16.4
		二層		13.5	14.5	13.0	12.5	13.0	13.3
		三層		14.0	16.0	14.0	14.0	16.0	14.8
	20 分鐘集水量 (ml)	一層		37.0	36.5	39.0	47.0	39.5	39.8
		二層		43.0	42.0	42.0	40.0	39.0	41.2
		三層		47.0	46.0	48.0	49.0	50.0	48.0
	30 分鐘集水量 (ml)	一層		55.5	61.0	57.0	56.5	56.5	57.3
		二層		64.0	60.0	64.0	57.0	60.0	61.0
		三層		63.0	66.0	68.5	64.5	62.5	64.9

表 17：比較網目 32 淺色塑膠紗網在不同層數捕霧網的集水量

塑膠網種類	捕霧時間	次數		1	2	3	4	5	平均
		網子層數							
淺色塑膠紗網 網目 32	10 分鐘集水量 (ml)	一層		6.0	6.8	6.9	7.9	7.8	7.1
		二層		7.8	6.8	8.5	9.5	9.5	8.4
		三層		12.5	11.0	12.5	13.0	12.0	12.2
	20 分鐘集水量 (ml)	一層		23.0	25.0	31.5	29.0	33.5	28.4
		二層		40.0	36.0	39.5	37.0	38.0	38.1
		三層		42.0	42.5	46.5	41.5	43.0	43.1
	30 分鐘集水量 (ml)	一層		52.0	54.5	53.0	50.0	49.5	51.8
		二層		53.0	54.0	58.0	55.5	55.0	55.1
		三層		60.0	62.5	57.0	65.0	60.5	61.0



圖 29：不同層數(一層、兩層、三層)的園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網，進行 10 分鐘補霧效果的比較。(橫軸：遮蔽率 50%(一層、兩層、三層)、80%(一層、兩層、三層)、縱軸：平均集水量)

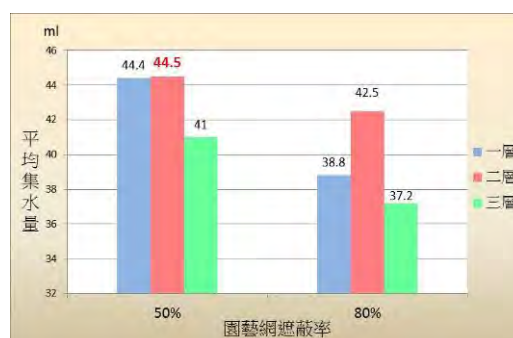


圖 30：不同層數(一層、兩層、三層)的園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網，進行 20 分鐘補霧效果的比較。(橫軸：遮蔽率 50%(一層、兩層、三層)、80%(一層、兩層、三層)、縱軸：平均集水量)



圖 31：不同層數(一層、兩層、三層)的園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網，進行 30 分鐘補霧效果的比較。(橫軸：遮蔽率 50%(一層、兩層、三層)、80%(一層、兩層、三層)、縱軸：平均集水量)



圖 32：比較不同層數(一層、兩層、三層)的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，進行 10 分鐘捕霧效果的比較。(橫軸：網目 15(一層、兩層、三層)、網目 32(一層、兩層、三層)、縱軸：平均集水量)



圖 33：比較不同層數(一層、兩層、三層)的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，進行 20 分鐘捕霧效果的比較。(橫軸：網目 15(一層、兩層、三層)、網目 32(一層、兩層、三層)、縱軸：平均集水量)



圖 34：比較不同層數(一層、兩層、三層)的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，進行 30 分鐘捕霧效果的比較。(橫軸：網目 15(一層、兩層、三層)、網目 32(一層、兩層、三層)、縱軸：平均集水量)

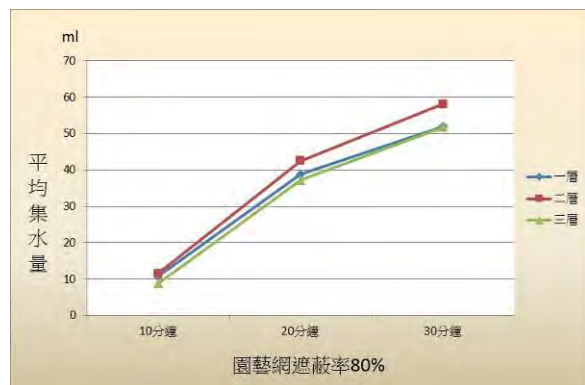
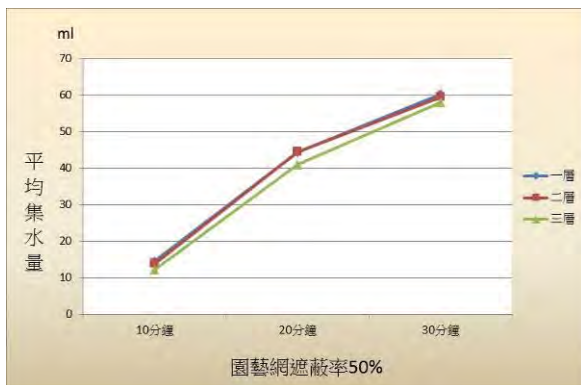


圖 35：不同層數的園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網，在不同捕霧時間集水量的變化(橫軸：時間、縱軸：平均集水量、3 條折線代表不同層數(一層、兩層、三層))

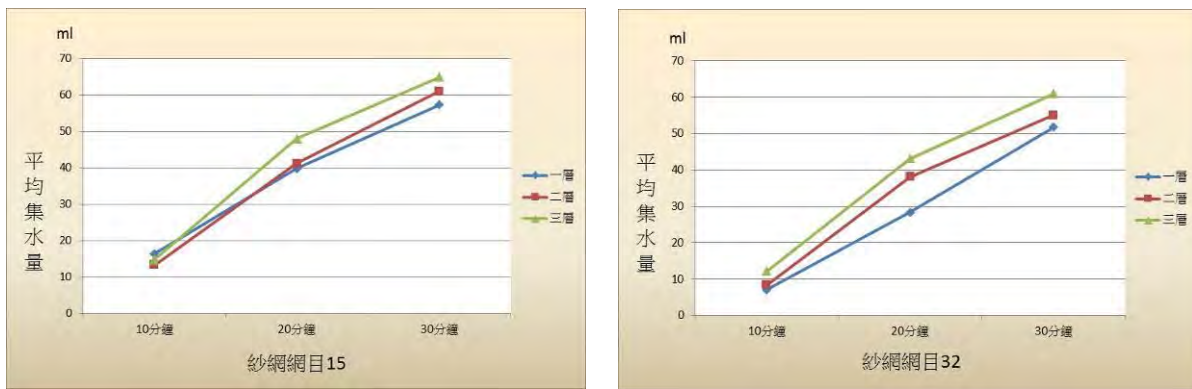


圖 36：不同層數的淺色塑膠紗網製成的捕霧網，在不同捕霧時間集水量的變化
(橫軸：時間、縱軸：平均集水量、3 條折線代表不同層數(一層、兩層、三層))

五、比較風向、架設高度與風速變化對捕霧網集水效率的影響

(一) 比較風向與架設高度對捕霧網集水效率的影響：與原先 90 度角噴霧（垂直網面）比較，噴霧風向越側面（與網面夾角越小），集霧效率越差。集霧網架設高度較低，使霧水主要打在網面的上方時，集霧效率會變差，反之集霧網架設高度較高，使霧水主要打在網面的下方時，集霧效率反而會變好（結果如表 18）。

表 18：不同風向與噴霧位置捕霧網的集水量（集水量單位：毫升）

次數 風向位置	1	2	3	4	5	平均
與網面夾角 90 度	14.0	14.0	14.5	14.5	14.0	14.2
與網面夾角 45 度	13.5	10.5	12.0	11.5	11.0	11.7
與網面夾角 30 度	11.0	9.5	10.5	8.8	9.0	7.9
網面上方 1/3	11.5	11.5	12.0	12.5	12.0	11.9
網面下方 1/3	17.5	16.0	17.0	16.0	17.0	16.7

(二) 比較風速的變化對集霧量的影響

1. 開放式空間集霧：捕霧 10 分鐘的結果，以我們測試的風速範圍，風速越快，集水量越少，可能是霧氣通過網子的速度過快，霧水反而無法順利附著網子集結成水珠（結果如表 19）。

表 19：開放式空間集霧不同風速下捕霧網的集水量（集水量單位：毫升）

次數 集水量	1	2	3	4	5	平均
風速 1 (0.8m/s)	14.0	14.0	14.5	14.5	14.0	14.2
風速 2 (2.6m/s)	9.4	11.0	11.5	11.3	11.0	10.8
風速 3 (3.5m/s)	9.7	9.7	9.2	9.2	9.6	9.5

2.半封閉式空間集霧（整理箱集霧設備）：由於使用整理箱集霧設備，10 分鐘的集水量太少，於是改測 20 分鐘，結果 20 分鐘的集水量還是低於開放空間 10 分鐘的集水量。而以我們測試的風速範圍（由於噴霧口與網子距離由 20 公分改為 25 公分，所以在網子前方測得的風速較開放式慢），風速 1 和風速 2 差不多，反而風速 3 集水量最多，推測是因為風速夠快，才可吹散積聚在箱中的霧氣，使霧水較能順利通過網子被捕捉集結。

表 20：半封閉式空間集霧不同風速下捕霧網的集水量（集水量單位：毫升）

次數 集水量	1	2	3	4	5	平均
風速 1 (0.1m/s)	7.4	10.0	8.2	8.0	8.9	8.5
風速 2 (1.8m/s)	9.5	8.6	8.0	5.9	10.0	8.4
風速 3 (3.1m/s)	11.5	13.5	11.0	15.5	16.0	13.5

六、設計戶外實測模組並實地測量

（一）嘉義隙頂實測結果：我們在隙頂總共在兩個地點做了三次實驗觀測（如圖 37~40），結果如下（如表 21），我們發現在自然環境中，風速對霧水的收集影響很大，當環境風速低（1.38m/s）時收集 13 小時的集水量只有 149 毫升，遠不如在環境風速高（3.06m/s）時收集 1.5 小時的集水量 190 毫升，而根據以往專家實驗的結果，風速過大或過小都不利於霧水的收集，最適合集霧的風速為 2~5 m/s（參考資料五），我們實測的結果也相符合，至於兩種尺寸的網子收集量大致與網子面積成正比。

表 21：嘉義隙頂捕霧網實測地點及集水量結果（集水量單位：毫升）

時間	地點	網子尺寸 cm×cm	風速 m/s 註 1	溫度 ℃	濕度 %	集水量 ml
2017.3.18, 18:20 ~2017.3.19, 7:20	嘉義縣番路鄉觸口村 車埕 51 號停車場	75x75	1.38	15	95	149
2017.3.19, 13:00~14:30	隙頂二延平步道第二平台	75x75	3.06	19	70	190
2017.3.19, 13:00~14:30	隙頂二延平步道第二平台	60x50	3.06	19	70	118

註 1：由於在使用風速計測量捕霧網網子前方風速時，一方面可能網子前方風速太低，一方面可能霧水太多使風速計的風扇沾滿霧水而失效，在網子前方無法測到風速，但可明顯看到霧氣對流，因此就直接以當地氣象站測得的風速來代表。



圖 37：隙頂停車場實驗組



圖 38：隙頂二延平步道第二平台實驗組



圖 39：水珠附著捕霧網

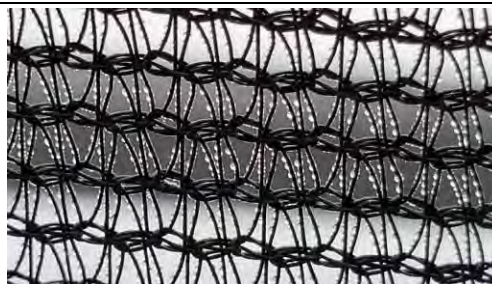


圖 40：觀察水珠形成

陸、討論

一、設計捕霧網實驗裝置與捕霧步驟

- (一) 有關實驗設備的穩定度和實驗結果的可信度：我們使用的超音波噴霧機是運用超音波高頻震盪之原理，快速震動將水分子震成直徑3~8微米霧狀的粒子（一般自然界的霧中水滴直徑為1~40微米），將水霧送出。但我們觀察噴霧量時發現出霧量其實並不穩定，所以我們採用**多次實驗並刪除極端數據後取5次數據計算平均值，如此得到的結果在不同時間再重測也能得到相近的數據。**
- (二) 捕霧網表面的潮濕度與溫度的影響：剛開始做實驗時，我們發現實驗在第一次的測定收集到的集水量常常偏低，我們推測可能**與網子表面的潮濕度有關，當網子表面潮濕可以使空氣中的水霧較易附著網子集結為水滴**，因此我們就在第一次測定前先將網子泡水然後擦拭表面的水分後再架上網架，結果就比較穩定。另外我們推測網子的表面溫度可能也有影響，因為水霧的溫度較室溫低，**經過第一次測定後網子的表面溫度會下降，可能也有利於後面測定時讓水霧集結。**

二、比較不同編織法與遮蔽率塑膠網的捕霧效率

- (一) 水珠形成與掉落：我們觀察到不同遮蔽率黑色塑膠網捕霧時網布上出現水珠及水珠由網上掉落至集水管的時間明顯不同，我們推測可能**水珠形成時，水珠必須集結夠大，重力才能抵抗水珠與網布間的附著力及摩擦力而掉落到集水管**，因此在剛開始捕霧的前幾分鐘集水量都會較少。
- (二) 網孔大小的影響：我們本來預測網孔小的網子阻擋下的水霧可能較多，所以捕霧效果應該較佳。但**實際測量的結果，集霧效果大都是網孔較大者較佳**。我們觀察到網孔越小的網子，水霧通過網子的量越低，許多水霧在打到網子時會直接反射到四周，而且實驗過後網子前方桌面上集結的水滴較多，而網孔越大水霧較容易通過網子，並在網子後方桌面集結較多水滴。所以我們推測可能是**網孔越小的網子形成的水珠較小，因此容易附著在網子而塞住網孔，結果就如一道水牆形成，反而對水霧的通過造成阻擋並使水霧彈開，我們稱之為「水牆效應」**。因此在**集霧時網孔的大小適當即可，讓**

水霧能夠適度通過網子，水霧才能集結在網子上，捕霧效果才會比較好。另外我們也觀察到淺色塑膠紗網網目20與32在集霧30分鐘時，兩者的集水量相近，推論可能與紗網的線徑有關，網目32的網紗較網目20的細很多，可能造成網目32水珠的附著支撐較小，水珠形成後較易滴落，降低了水霧通過的阻礙。

- (三)「水牆效應」的影響會降低捕霧效率，我們建議捕霧網最好要能自動的清除水珠：為了更了解捕霧網的網孔大小對捕霧效果的影響，我們使用了數位式解剖顯微鏡實際測量網布的網孔直徑，比較後使我們再次確認網孔較大者捕霧效率較網孔較小者來的好。同時網布編織法對集水量也有影響，同網孔大小的園藝用黑色塑膠網（複雜的針織式編織法）比上淺色塑膠紗網（簡單的十字編織法）集水量較多，但隨著捕霧時間拉長，2者的差距卻變小。因此，我們推測當捕霧時間拉長，停留在網子上的水珠越多，尤其複雜編織的網子可能提供更多的附著處，造成水霧通過的阻礙變大，「水牆效應」就變大了。所以，我們認為長時間捕霧時，若要達到最好的捕霧效果，每隔一段時間應該要清除網子上的水珠，可以設計由太陽能驅動定時將網子震動的裝置，藉由震動去除網子上的水珠，捕霧效率應該可以提高。

三、比較網孔大小對捕霧網集水效率的影響：設計鋁箔紙捕霧網證明「水牆效應」

- (一)推論「水牆效應」的成因：我們推論捕霧過程，水霧通過網子時在網孔周圍附著集結形成夠大的水珠後，水珠重力克服了與網子之間的附著力與摩擦力才會掉落，所以網孔太小反而使形成的水珠太小，水珠重力較不易克服與網子之間的附著力與摩擦力，容易塞住網孔使水霧不易通過網子，形成「水牆效應」。
- (二)為了證實這個推論，於是我們自行設計了「鋁箔紙捕霧網」，一方面我們覺得金屬材質容易降溫可能較適合捕霧，另一方面鋁箔紙容易穿孔，可讓我們自行設計網孔大小與間距，而且去掉了網子編織法對「水牆效應」的影響。結果發現完全無網孔的鋁箔紙捕霧網捕霧效率最差，小網孔的其次，大網孔最佳，證實了我們的推論。本來我們還想進一步找出哪種網孔大小的捕霧網捕霧效果最佳，可惜受限於市售釘子直徑有一定尺寸，而且在製作「鋁箔紙捕霧網」的過程耗時費力，鋁箔紙又容易破損，並且捕

霧效果不佳（可能太光滑，缺乏霧水附著處使水珠不易形成），而且網孔容易大小不均（人為戳洞用力不均），只好留待後續改進實驗方法再研究。

四、比較不同層數捕霧網集水的效率

- （一）在參考了其他人對捕霧網的研究，我們發現有些人會將捕霧網增加網子的層數以增加捕霧的效率，推論是認為第一層網子沒有捕捉到的水霧可以被第二層甚至第三層的網子捕捉到（參考資料二），而在非洲地區的捕霧網一般也多為兩層，認為可加速聚集水滴。但實際測量後發現，**黑色塑膠網布重疊的層數太多（三層）集水量不增反減，我們推測可能也與「水牆效應」有關，當重疊的層次越多，可能會受重疊的影響使網孔大小變得相對較小，所以集水量不增反減。**由於黑色塑膠網布的針織編織法較複雜，重疊縫合後容易錯開使網孔相對變小因此影響較大，而淺色塑膠紗網為簡單的十字編織法，用線重疊縫合後網孔較不易錯開，對網孔的大小自然影響較小。
- （二）雖然大部分的網子重疊 2 層時集水量有略為增加，但增加的量太少，實在不符合經濟效益，**實際應用在日常生活時，我們建議遮蔽率 50%、60%黑網網子單層即可。**

五、比較風向、架設高度與風速變化對捕霧網集水效率的影響

- （一）**專家訪談：**為了更了解捕霧網，我們專程到溪頭的台大實驗林參觀，並請教台灣大學大氣科學研究所的專家，專家告訴我們他們有在溪頭設置捕霧網，但由於這幾年環境的變遷和林相的改變，溪頭園區內霧氣的量越來越少，而且附近霧氣形成的海拔高度越來越高，導致設置在園區內的捕霧網越來越收集不到霧水，只好將網子架設在海拔高度更高的觀測點才能集水。在參觀的過程我們發現園區內的捕霧網有2種，1種為平面式、另1種為圓筒狀，請教專家才知道主要與捕霧時的風向有關，若是固定風向自然可使用平面式，但若風向一直改變，圓筒狀的才能收集來自四面八方的霧水。在實驗的過程，我們也發現如果噴霧器的出風口位置被移動沒有正對網子，或是實驗時有人走動影響到噴霧的風向或風速，實驗的數值就會有變化，所以風向和風速應該也會影響捕霧效率。
- （二）**風向與捕霧網架設高度的影響：**對於風向對集霧的影響，結果如同我們預測的，**正**

面迎風集霧效率最好，但網子架設高度的影響，結果卻有些出乎預料，我們本來預測水霧打在網子正中央集霧效率最好，但結果是水霧打在網子下方集霧效率最好。仔細觀察實驗過程，我們發現當水霧打在網面時部分通過網子但部分會反彈，網子架設高度若較低，水霧會打在網子上方，此時會有許多反彈水霧直接跨過網子上方而無法收集到，但若網子架設高度較高，水霧會打在網子下方，由於網子下方就是集水管，兩者間縫隙不大，水霧不易由網子下方逃離，反彈水霧就會沿網面上升而部分收集，因此集水量反而增加。所以在架設捕霧網時除了要正對風向外，還要注意當地霧氣的高度，網子高度不要架設的太低，否則霧氣容易由網子上方逃離。

(三) 風速的影響：在測定風速對集霧的影響時，我們一開始是想製作一個比較密閉環境的捕霧裝置以減少周圍環境的影響，所以在水霧通過捕霧網後要離開整理箱的那一側的箱面上，我們是以開四個小孔加桌上型電風扇抽風來幫助水霧離開，結果捕霧效果非常不好，集水量非常非常少，我們仔細觀察後發現原來是因為水霧不易離開箱子而沉積，使箱子內呈現一個水霧過飽和的狀態，我們推測網子前方過飽和的水霧可能因此造成類似「水牆效應」，形成一道「水霧牆」阻擋水霧通過網子，使得捕霧效率變差，所以就將箱子一側開大孔洞，使水霧可以減少堆積後，捕霧效率才得以些微改善，但和原先開放空間的實驗結果相較，捕霧效率仍然很差，觀察後推測是因為整理箱中水霧無法像在開放空間那樣由網子的2側邊離開，所以仍有一些滯留，因此在加入電風扇增加風速後，反而幫助吹散使水霧減少，因此我們推論捕霧時風速不可過慢。但考量日常生活環境，實際捕霧的空間應為開放環境，所以我們認為捕霧時風速也不可過快，否則水霧太快通過網子來不及互相集結成水珠，捕霧效率也會變差。

(四) 室溫和環境濕度的影響：我們的實驗是由105年9月持續到106年3月，在實驗的過程中發現室溫和環境濕度可能也會影響捕霧效率。一方面是因為當實驗時環境的室溫高或濕度高時，捕霧過程在網子四周的桌面會出現比較多的水滴凝結，另一方面發現是在製作整理箱集霧設備時，發現當霧氣無法離開箱子，箱子內呈現一個濕度過飽和的狀態，捕霧效率也很差。因此我們認為環境濕度應該也會影響捕霧效率，只是受限於目前設備，無法營造出定溫、定濕的環境，但可以做為將來研究的方向。

六、設計戶外實測模組並實地測量：捕霧網在台灣應用的可行性

- (一) 國外學者曾對捕霧網的分布研究，多以冷洋流的流經的海灣地區較適合捕霧網的設置。由全球洋流圖（圖 41）分析及目前實驗研究全世界適合設置捕霧網的點（圖 42）來看，台灣並不在其中。



圖 41：世界表層洋流的分布，藍色為冷洋流，紅色為暖洋流



圖 42：藍色點代表適合設置捕霧網的地方

- (二) 但台灣地形海拔高度變化大，由於地形及氣流所造成的微氣候，在特定的地點容易形成雲霧，應該也相當適合捕霧網的設置。我們實際到嘉義隙頂的實驗發現，由台灣海峽及嘉南平原帶來的水氣，沿著隙頂二延平山北方的八掌溪谷向上延伸至隙頂附近海拔約 1250 公尺的二延平山，由於海拔升高使環境降溫，當水氣達飽和時，便會凝結成雲霧，此時受到地形及氣流的影響，雲霧通過稜線後，被前方導引氣流拉向南側的曾文溪谷，形成往下墜的雲瀑，使雲霧流動的速率達到適合捕霧的風速，形成捕霧網適合設置的條件（我們以保麗龍做出地形模型，如圖 43、44）。事實上，在台灣也曾有學者在苗栗三義和新竹觀霧進行捕霧網的研究，並獲得相當好的成效。



圖 43：隙頂附近上升的谷風形成上坡霧



圖 44：捕霧網實測模型圖

- (三) 日常生活中如果長時間架設捕霧網，我們覺得網孔容易被灰塵異物阻塞而降低集水效率，所以我們建議捕霧網的架設應設計為可拆式，在集霧條件適合時才裝置。

七、未來研究方向

- (一) 未來我們希望能找出最適合製作捕霧網的材質（塑膠網、金屬網、棉質網、吸濕排汗布……）、網孔大小、甚至是捕霧網的形狀（平面、圓筒狀、蜘蛛網狀……），並找出最適合捕霧的環境條件（濕度、溫度、風速……）
- (二) 調查全台灣有條件能夠適合架設捕霧網的地點，相信捕霧網的架設在容易缺水的時期可以有效協助集水，減輕旱象。
- (三) 設計出方便可攜式捕霧網，除了更輕、更方便攜帶架設外，在容易缺水的登山小屋或露營區也可以使用。

柒、結論

- 一、使用我們設計的捕霧裝置可用來測定各種捕霧網的捕霧效率，且隨著實驗次數越多，操作的熟練度越好，測定的誤差會越小，但由於超音波噴霧器的出霧量並不十分穩定，必須多次測定後去除掉極端數據取平均值比較為佳。
- 二、網孔大小會影響捕霧效果，網孔太小的捕霧網容易形成「水牆效應」反而不利於捕霧。另外網布編織法對捕霧效果也有影響，較複雜編織法的塑膠網集水量較多，不過隨著捕霧時間的拉長，影響似乎會變小。
- 三、對於捕霧網的層數對捕霧效率的影響，我們認為也會受網布編織法的影響，複雜的針織編織法的網子在重疊縫合時網孔會相對變小，反而不利於捕霧，而簡單的十字編織法的網子在重疊縫合時網孔較不易錯開，對網孔大小的影響較小，但集水量增加的幅度也不大。因此實際應用在日常生活上，考量成本與效益，目前我們建議是以單層園藝用黑色塑膠網遮蔽率50%或60%的網子製作捕霧網即可。
- 四、風向也會影響捕霧的效率，正對風向架設捕霧網效率最佳，但有時在自然環境中風向會改變，若能隨風向改變捕霧網的架設位置效果會最好，不然也可以考慮架設圓筒狀的捕霧網就能捕捉來自各個風向的水霧了。
- 五、架設捕霧網前時須先觀測當地霧氣的高度，網子的高度不可太低，否則霧氣容易由網子上方跨過，集霧效率會不佳。

- 六、另外環境的風速也會影響捕霧的效率，當風速過慢，霧水容易積聚在網子四周造成類似「水牆效應」而不利於集水，但當風速過快帶動水霧快速通網子也會使水霧來不及凝結成水珠而無法集水。因此如果要實際應用在日常生活上，架設捕霧網的地點選擇就非常重要了，除了該地區會有霧氣外，適度的風流動可以幫助霧水的收集。
- 七、台灣地形海拔高度變化大，由於地形及氣流所造成的微氣候，在特定的地點容易形成雲霧，應該也相當適合捕霧網的設置。
- 八、台灣近幾年只要冬季雨量不足隔年春季就常會有缺水的危機，如果能選擇適合的地點架設捕霧網，相信對於解決缺水問題一定能有所助益。

捌、參考資料及其他

- 一、李開發、黃元伯·網住水資源-捕霧網的介紹·國立金門高中104學年度小論文寫作比賽·
取自 www.shs.edu.tw/works/essay/2015/11/2015111008185633.pdf
- 二、陳筠喬、張紫幃、鍾岑君、李易霖·霧網恢恢密而不失---補霧網的研究與探討·嘉義縣第五十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、林博雄（2009年05月）·「捕捉雲霧?!」·雪霸國家公園生態保育保育專欄·取自
<http://www.spnp.gov.tw/print.aspx?a=O34RvzEyOUk%3d&lang=1>
- 四、林博雄（2011年03月）·「捕霧，捕夢！」·雪霸國家公園生態保育保育專欄·取自
<http://www.spnp.gov.tw/print.aspx?a=upyWHcOOSu0%3d&lang=1>
- 五、廖靜蕙（2014年09月11日）·「捕霧」追水 學者：台灣冬季很保溼·環境資訊中心電子報·取自 <http://e-info.org.tw/node/102047>
- 六、林明瑞主編（2008）·普通高級中學物理下冊·台南市：南一
- 七、高涌泉主編（2011）·普通高級中學基礎物理（二）B上冊·台北市：龍騰文化
- 八、李通藝主編（2010）·普通高級中學基礎地球科學上冊·新北市：康熹文化
- 九、許瑛珺主編（2010）·普通高級中學基礎地球科學上冊·台北市：三民
- 十、全球洋流分佈示意圖,全球大氣環流和洋流,全球洋流模式圖,全球洋流·小龍文檔網·取自 <http://www.xltkwj.com/wendang/3oFXyFQ2PCp07Yj3.html>

【評語】 080832

本作品在影片中觀察到納米比甲蟲以簡易製作的理念進行空氣中水霧的收集，相當有科學想法，題材很生活化，具實用性。研究中以網孔大小、編織方式、層數、環境條件為變因進行檢測，並在戶外實測，條理分明。階段性研究完成後，還擬定未來的研究方向，顯現團隊的專注和企圖心。建議應考慮是否造成二次汙染問題以及集水設備可能孳生蚊蟲。

作品海報

壹、研究動機

水資源問題最嚴重的非洲，婦女及小孩平均每天花6小時並且走上約6公里的路，就為了取水。沐霧甲蟲【納米比甲蟲】，生活在年降雨量不超過100毫米的納米比亞沙漠，每當有濃霧出現時，納米比甲蟲會到山丘上運用背部的親水性和疏水性交錯的結構，捕霧集成水珠生存，這激發了人類研發收集霧氣的捕霧網，以提供飲水或灌溉。四年級自然課中，老師介紹了水的三態，我們學到了雨水和霧只是顆粒大小不同的「液態水」，這更引發了我們的好奇心。想用日常可取得的塑膠網，研究怎麼樣的網孔大小、編織方式和層數做成的捕霧網最能收集霧水，怎樣的環境條件下捕霧網最能發揮功效。除了可以應用在高山缺水地區如：登山木屋，或許在氣候變遷劇烈的未來，在水資源短缺時，也可以應用簡易製作的捕霧網來集水，協助解決台灣的水資源問題。

貳、研究目的

- 一、設計可以進行捕霧網實驗測試的**實驗裝置**
- 二、測試適合製作捕霧網網子的**網孔大小**
- 三、測試適合製作捕霧網網子的**編織方式**
- 四、測試**捕霧網的層數**對捕霧效果的影響
- 五、測試適合進行捕霧的**環境條件（風向、風速）**
- 六、設計**戶外實測模組**並實地測量捕霧網在台灣應用的可行性

參、研究設備及器材

- 一、噴霧器1部、滴定管架2個
- 二、園藝用黑色塑膠網布（市售遮蔽率50%、60%、70%、80%）、淺色塑膠紗網（網目15、20、32）、剪刀、熱熔槍、熱熔膠
- 三、方格紙、鋁箔紙、紙箱、大鐵釘、小銅釘
- 四、數位式解剖顯微鏡
- 五、塑膠整理箱、鑽孔器、美工刀、硬塑膠管、透明可彎式塑膠管、桌上型電風扇
- 六、PVC 集水管、活動衣架

肆、研究過程及方法

實驗流程圖

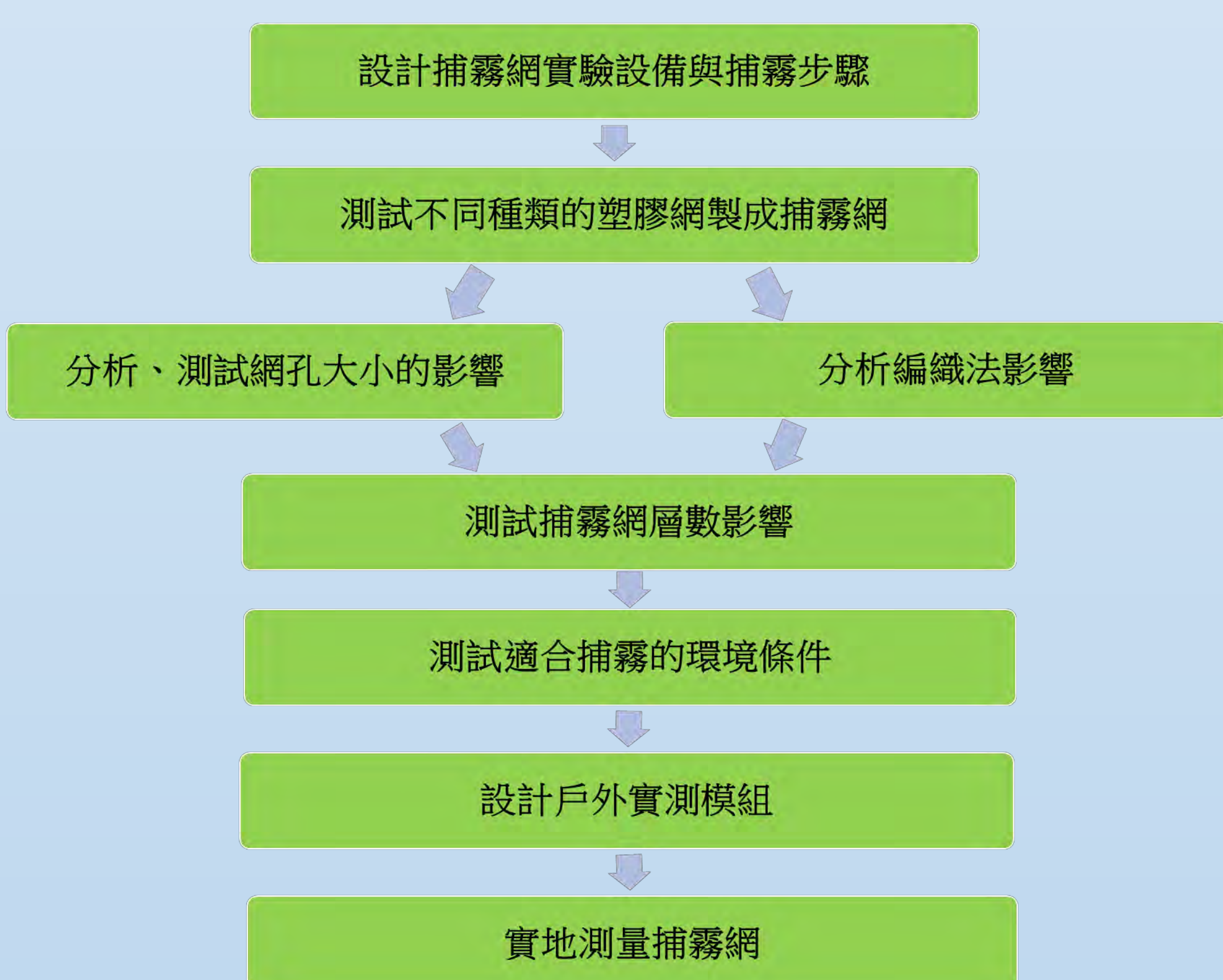


圖1

- 一、設計捕霧網實驗設備與捕霧步驟：**製作捕霧網、製作捕霧網架、設定集霧步驟**

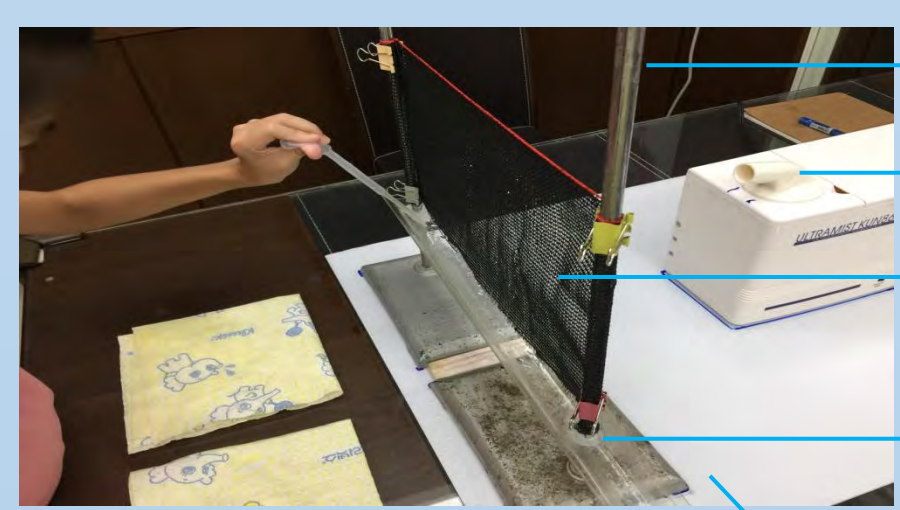


圖2:定位板與集霧設備裝置圖

- 滴定管架:用來固定捕霧網
- 噴霧器:用來產生霧氣
- 捕霧網:用來收集霧氣
- 透明塑膠波浪板凹槽:用來當集水管,收集捕霧網聚集的水滴
- 白色塑膠瓦楞板:用來當定位板,固定滴定管架與噴霧器的距離

- 二、比較不同編織法與遮蔽率塑膠網的捕霧效率

- （一）將不同遮蔽率（遮蔽率50%、60%、70%、80%，遮蔽率越大網孔越小）園藝用黑色塑膠網以中速噴霧（風速為0.8m/s）分別收集霧氣10、20、30分鐘。
- （二）將不同網目（網目15、20、32，數字越大網孔越小）淺色塑膠紗網以中速噴霧（風速為0.8m/s）收集霧氣10、20、30分鐘。
- （三）以數位式解剖顯微鏡拍攝不同網子的網孔。

- 三、比較網孔大小對捕霧網集水的效率的影響：以鋁箔紙製作2種網孔大小的鋁箔紙捕霧網，測試2種網孔大小的鋁箔紙捕霧網集水效率

- 四、比較不同層數捕霧網集水的效率：2層數、3層數的捕霧網集水的效率

- 五、比較風向、架設高度與風速變化對捕霧網集水效率的影響

- （一）比較**風向**與**架設高度**對捕霧網集水效率的影響

- （二）比較**風速變化**對捕霧網集水效率的影響：以遮蔽率50%園藝用黑色塑膠網捕霧網用不同風速（**開放式空間**：風速1為0.8m/s、風速2為2.6m/s、風速3為3.5m/s，**整理箱集霧設備**：風速1為0.1m/s、風速2為1.8m/s、風速3為3.1m/s）收集霧氣。



圖3

整理箱集霧設備

- 六、設計戶外實測模組並實地測量：以60%園藝用黑色塑膠網組合活動式衣架製成捕霧網，選定嘉義的隙頂進行實地測試。

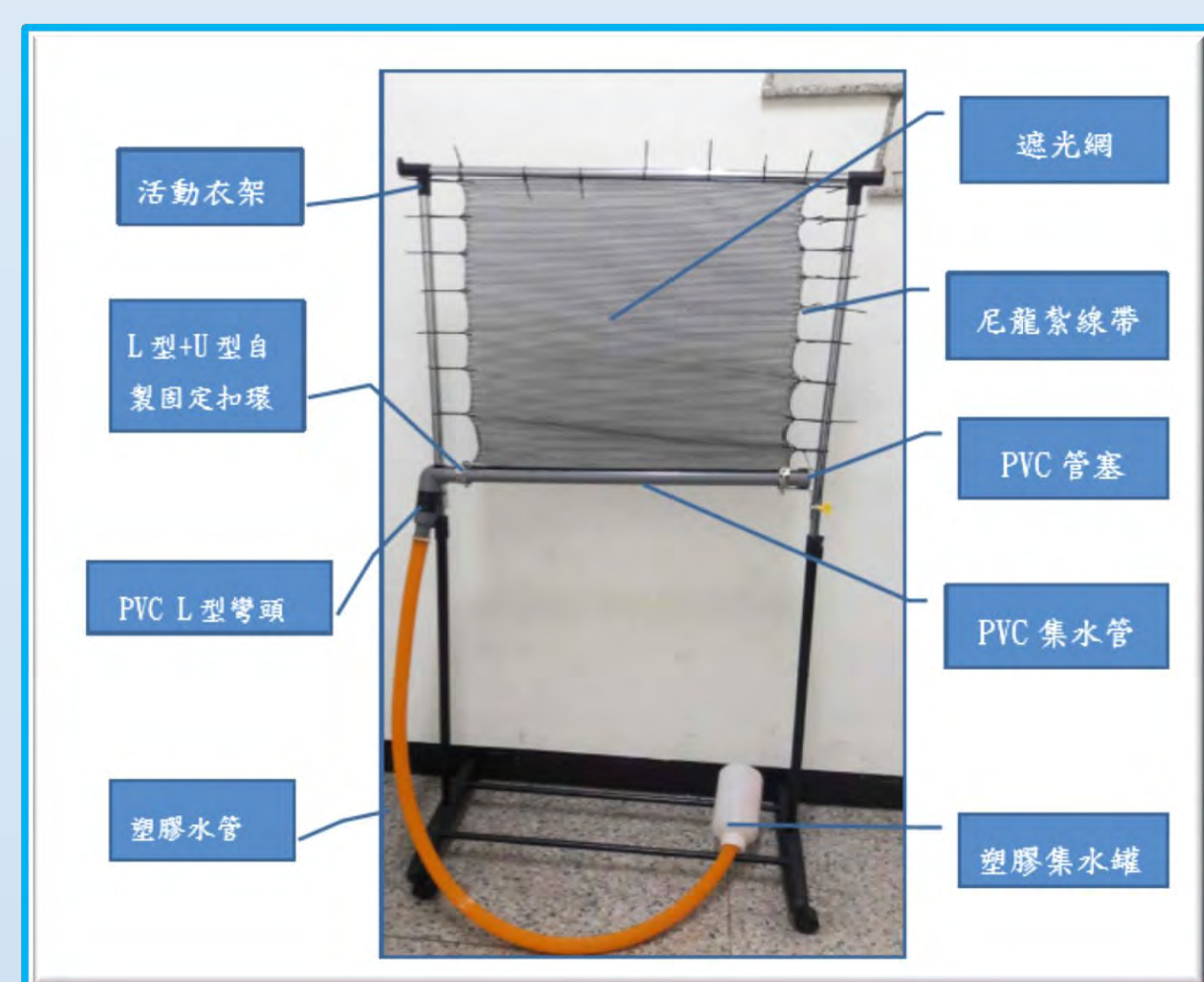


圖4

伍、研究結果與討論

- 一、設計捕霧網實驗設備與捕霧步驟

以市售遮蔽率50%的園藝用黑色塑膠網布製成的捕霧網，經過多次測定並刪除極端數據後，取5次數據計算平均值，如此得到結果在不同時間再重測也能得到相似數據。

表1：第一次測試結果

次數	1	2	3	4	5	平均
收集水量 (毫升)	14	14	15	14	13.5	14.1

表2：第二次測試結果

次數	1	2	3	4	5	平均
收集水量 (毫升)	15	14	13.5	17.5	13	14.6

- 二、比較不同種類塑膠網的捕霧效率

- （一）園藝用黑色塑膠網（又稱百吉網）

1. 以遮蔽率50%、60%集水量較多，80%集水量最少（遮蔽率數字越大，網孔越小）。
2. 隨著霧水收集時間拉長，20分鐘到30鐘之間的集霧效率略為變差。

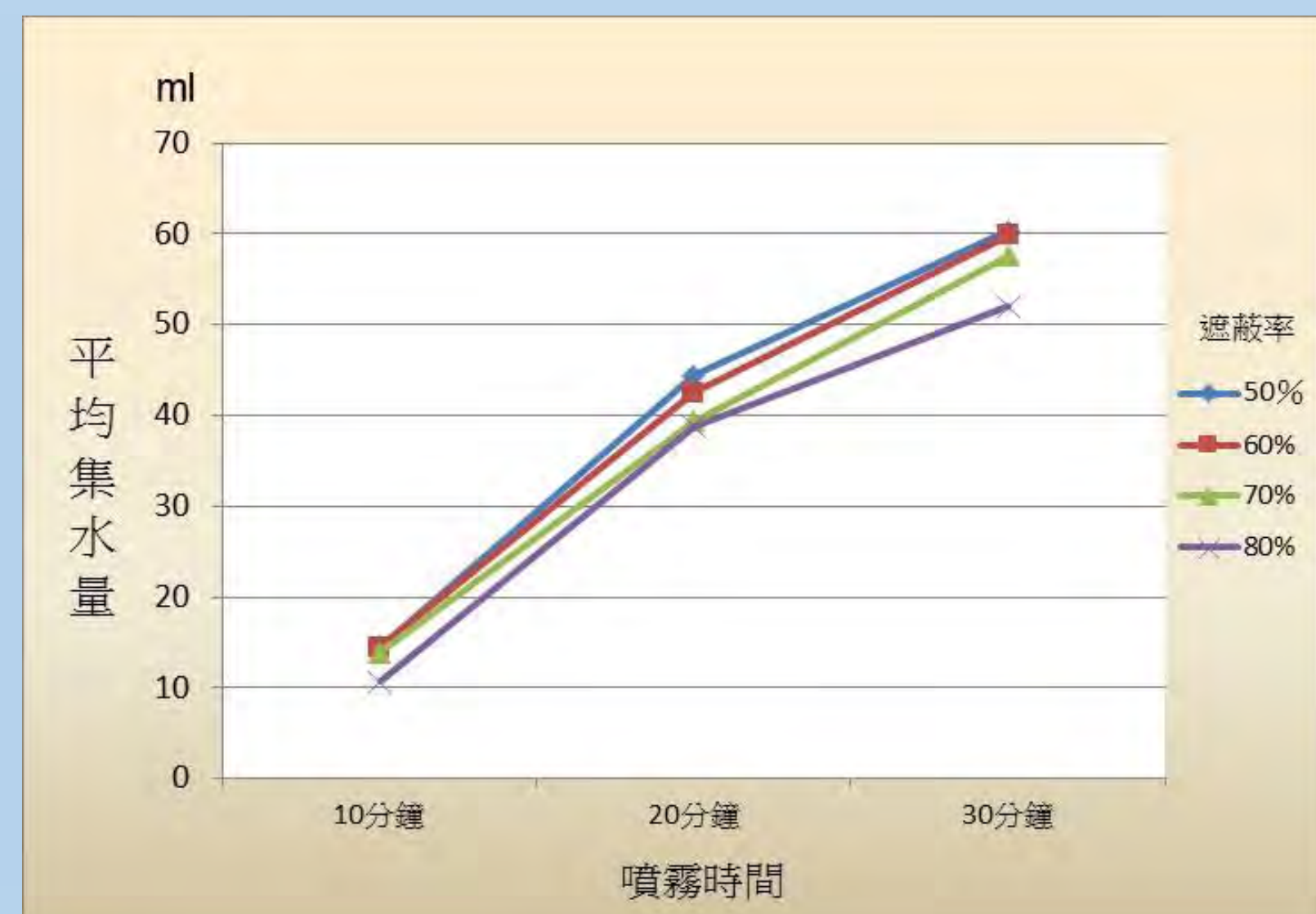


圖5

3. 實驗中觀察霧氣穿越網子的過程，霧氣在穿過遮蔽率70%和80%的網子時比較不能順暢通過，很多霧氣皆在網前反彈。



圖6：遮蔽率50% 霧氣通過的情形

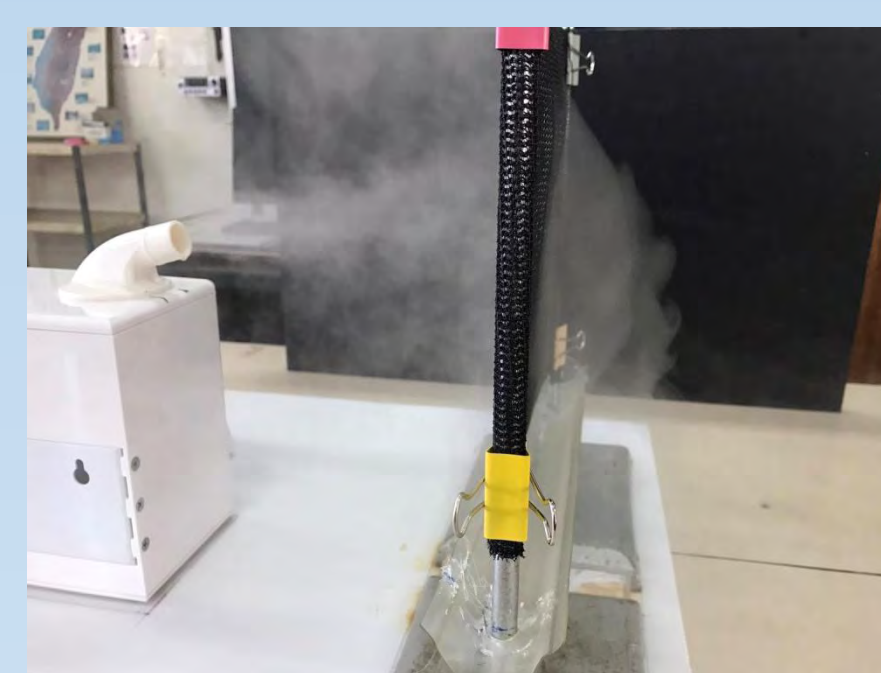


圖7：遮蔽率80% 霧氣通過的情形

(二) 淺色塑膠紗網

1. 以網目15集水量最多，網目32集水量最少(網目數字越大，網孔越小)。
2. 隨著收集時間拉長，集水量大致成比例增加，但拉長收集時間至30分鐘時，網目20和32集水量相近。

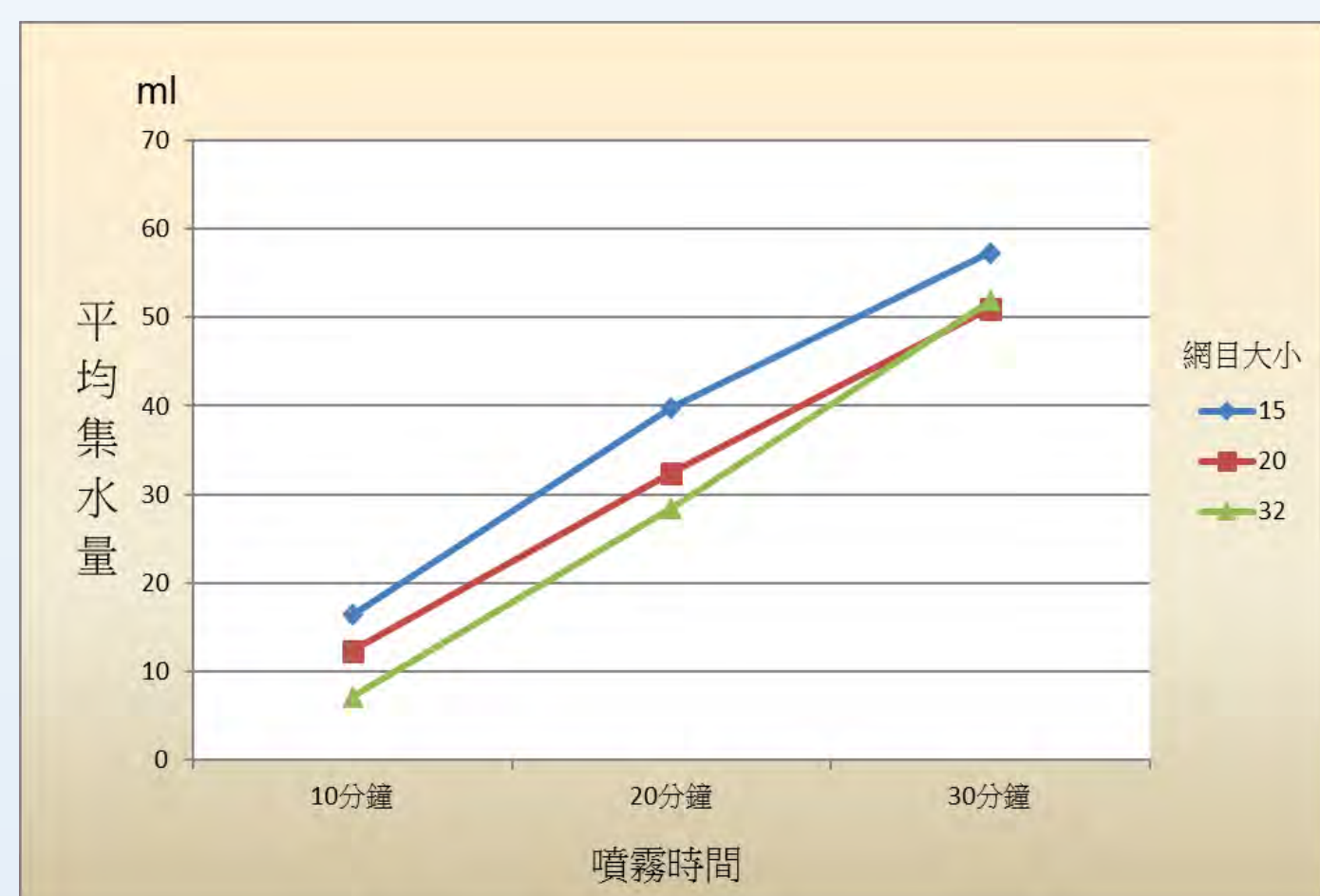


圖8

3. 實驗中觀察水霧穿越紗網的過程，發現網目32，水霧在穿過紗網時比較不能順暢通過，穿過紗網之後的水霧量明顯減少而且速度減緩。

(三) 我們推測可能是網孔越小的網子形成的水珠較小，因此容易附著在網子而塞住網孔，結果就如一道水牆形成，反而對水霧的通過造成阻擋並使水霧彈開，我們稱之為「水牆效應」。因此在集霧時網孔的大小適當即可，讓水霧能夠適度通過網子，水霧才能集結在網子上，捕霧效果才會比較好。

(四) 以數位式解剖顯微鏡拍攝不同網子的網孔，實際測量園藝用黑色塑膠網與淺色塑膠紗網的網孔大小。

1. 比較網孔大小不同的捕霧網集水量的差異：網孔較大者不管園藝用黑色塑膠網或淺色塑膠紗網，在集霧10分鐘、20分鐘、30分鐘的集水量都較網孔較小者來的多。

(1) 10分鐘集水量：以網孔1.12mm網目15淺色塑膠紗網集水量最多。

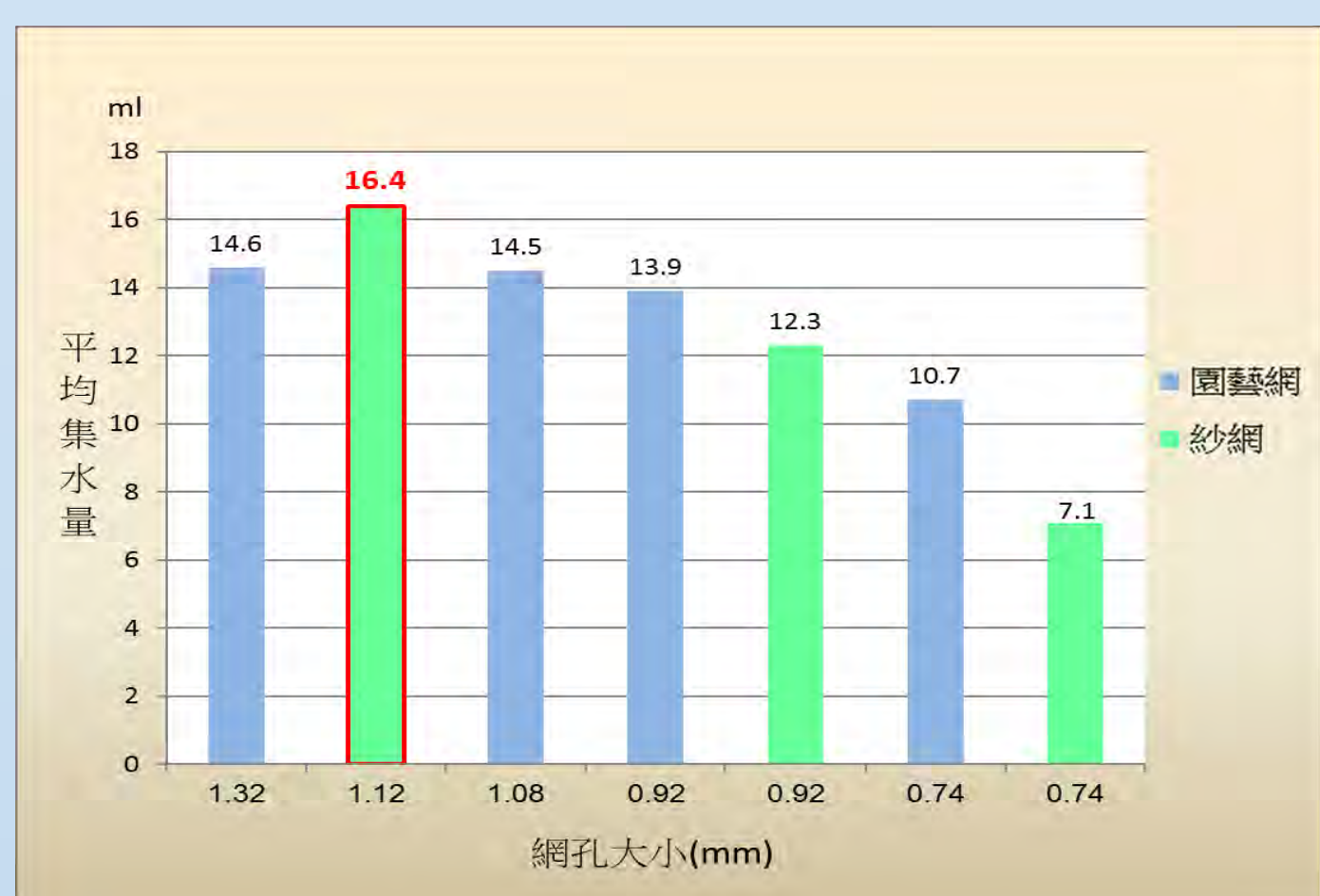


圖9

(2) 20分鐘集水量：以網孔1.32mm遮蔽率50% 園藝用黑色塑膠集水量最多。

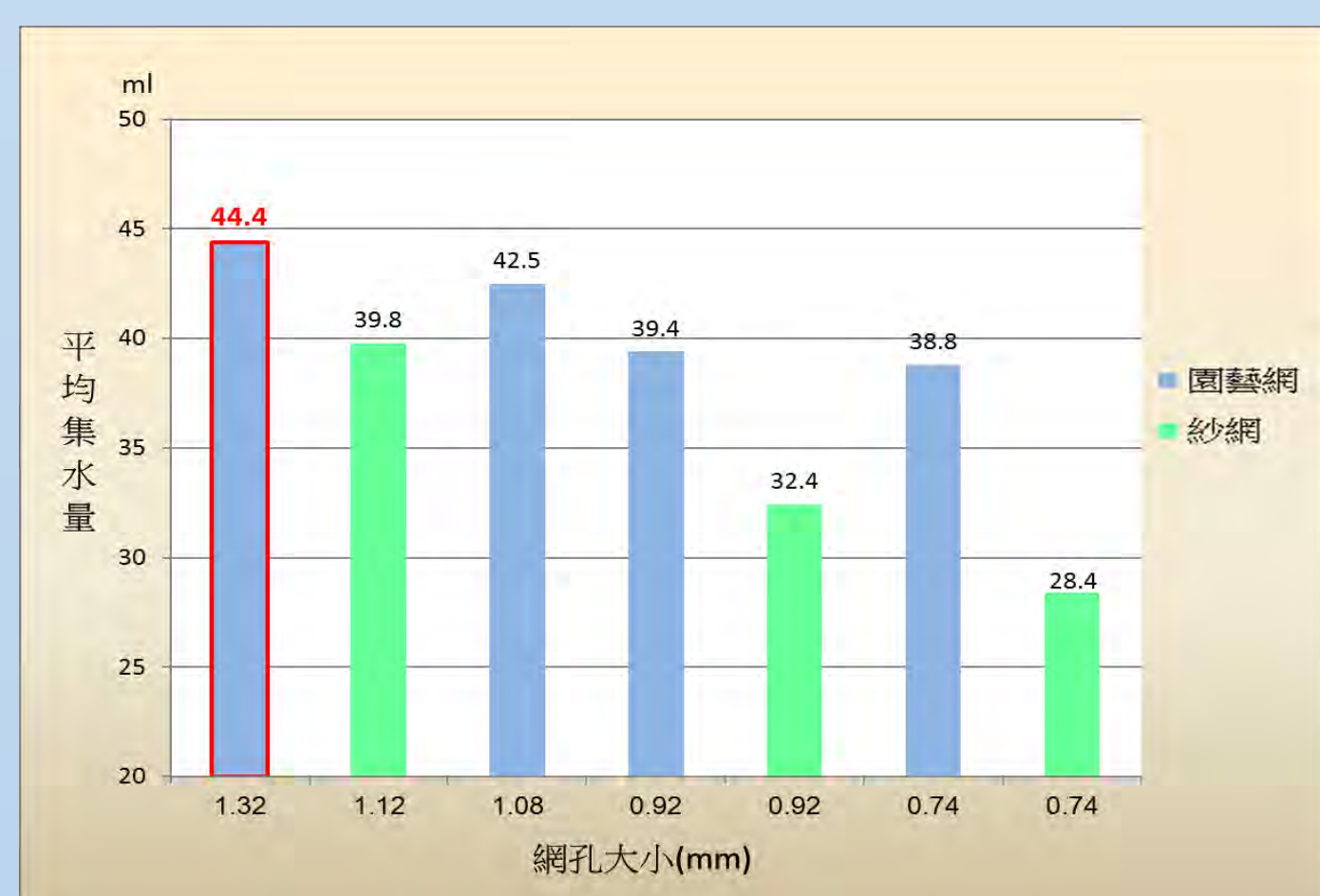


圖10

(3) 30分鐘集水量比較：以網孔1.32 mm遮蔽率50% 園藝用黑色塑膠網集水量最多。

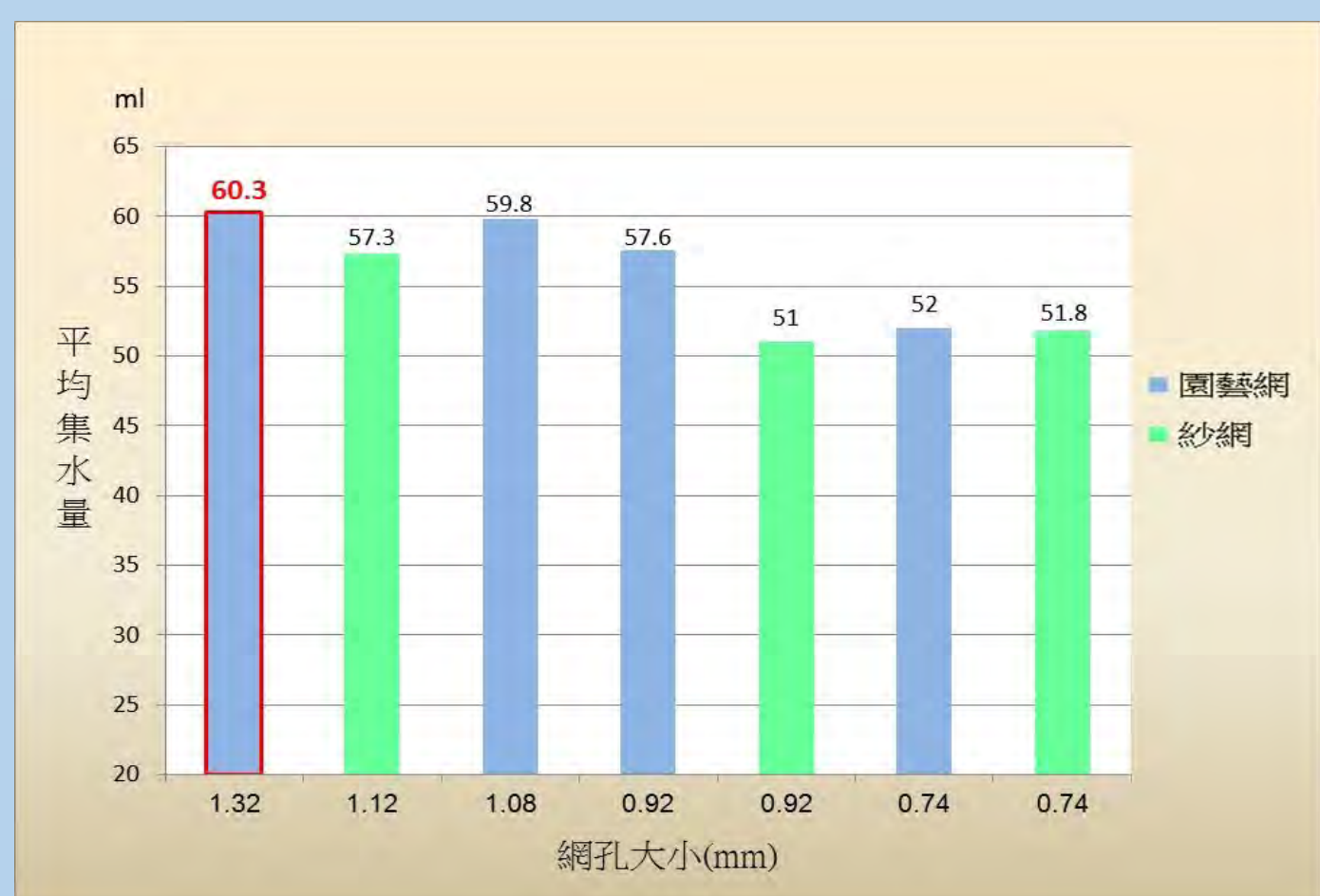


圖11

2. 以不同編織法比較 10、20、30分鐘的集水量

(1) 不同編織方法的捕霧網捕霧10分鐘的集水量



圖12

(2) 不同編織方法的捕霧網捕霧20分鐘的集水量



圖13

(3) 不同編織方法的捕霧網捕霧30分鐘的集水量



圖14

(五) 「水牆效應」的影響會降低捕霧效率，網孔較大者捕霧效率較網孔較小者來的好，同時複雜的編織法比簡單編織法集水量較多，但隨著捕霧時間拉長，2者的差距卻變小。因此，我們推測當捕霧時間拉長，複雜編織的網子可能提供更多的水珠附著處，造成水霧通過的阻礙變大，「水牆效應」就變大了。所以，我們認為長時間捕霧時，若要達到最好的捕霧效果，每隔一段時間應該要清除網子上的水珠，可以設計由太陽能驅動定時將網子震動的裝置，藉由震動去除網子上的水珠，捕霧效率應該可以提高。

三、比較網孔大小對捕霧網集水的效率的影響

(一) 以鋁箔紙製作不同網孔大小的捕霧網，大網孔(直徑2.2mm)集水量較多，小網孔(直徑1.2mm)集水量較少，沒有網孔的鋁箔紙集水量最少。



圖15

(二) 推論網孔太小會使形成的水珠太小，水珠重力不容易克服與網子之間的附著力與摩擦力，容易塞住網孔使水霧不易過網子，形成「水牆效應」。

四、比較不同層數捕霧網集水的效率

(一) 遮蔽率50% 黑色塑膠網，重疊2層時集水量並沒有增加多少，重疊到3層集水量甚至減少，集水量的變化趨勢大多以10分到20分鐘集水效率較佳。

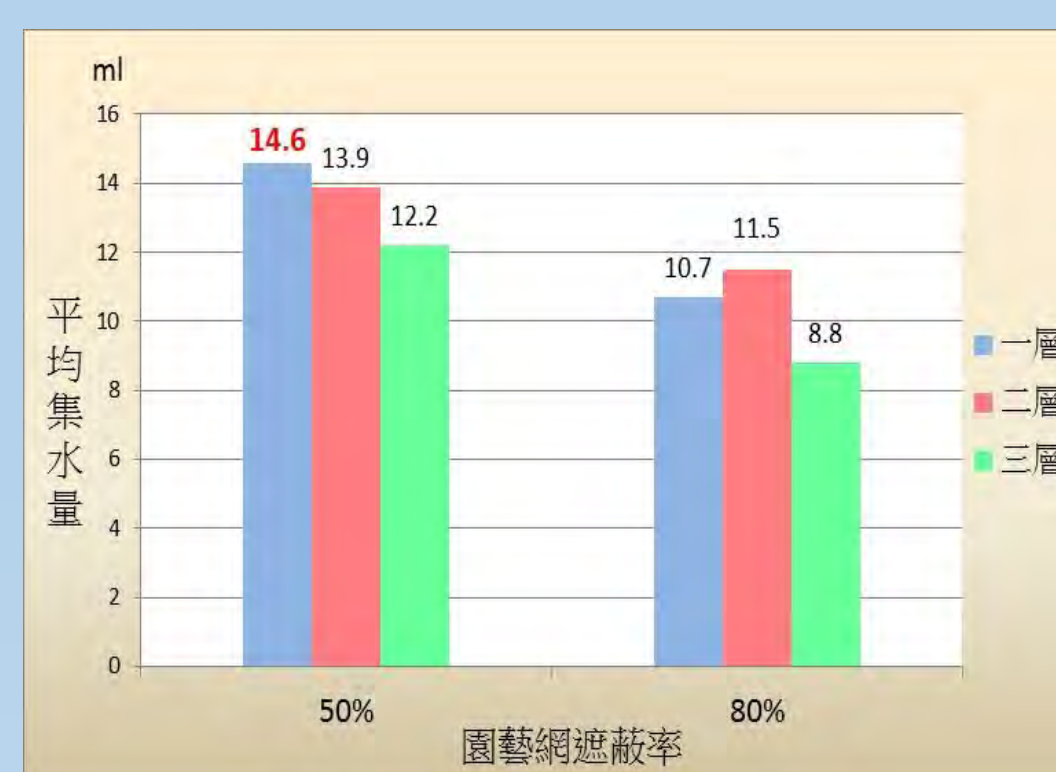


圖16：10分鐘捕霧效果的比較

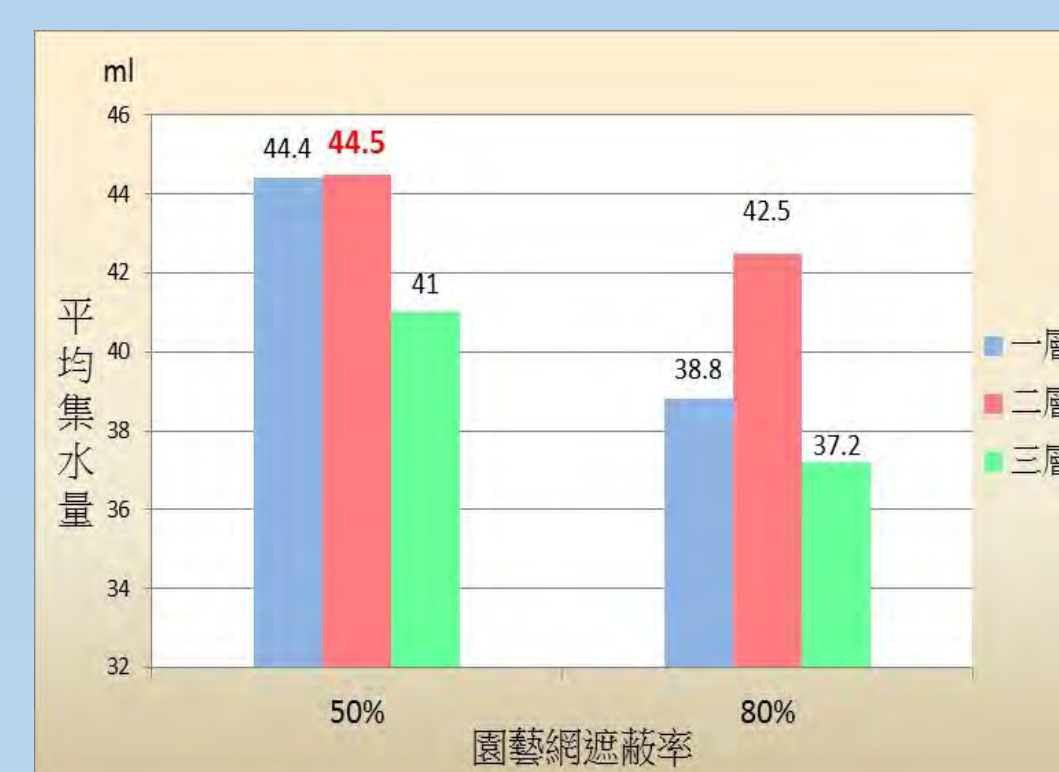


圖17：20分鐘捕霧效果的比較

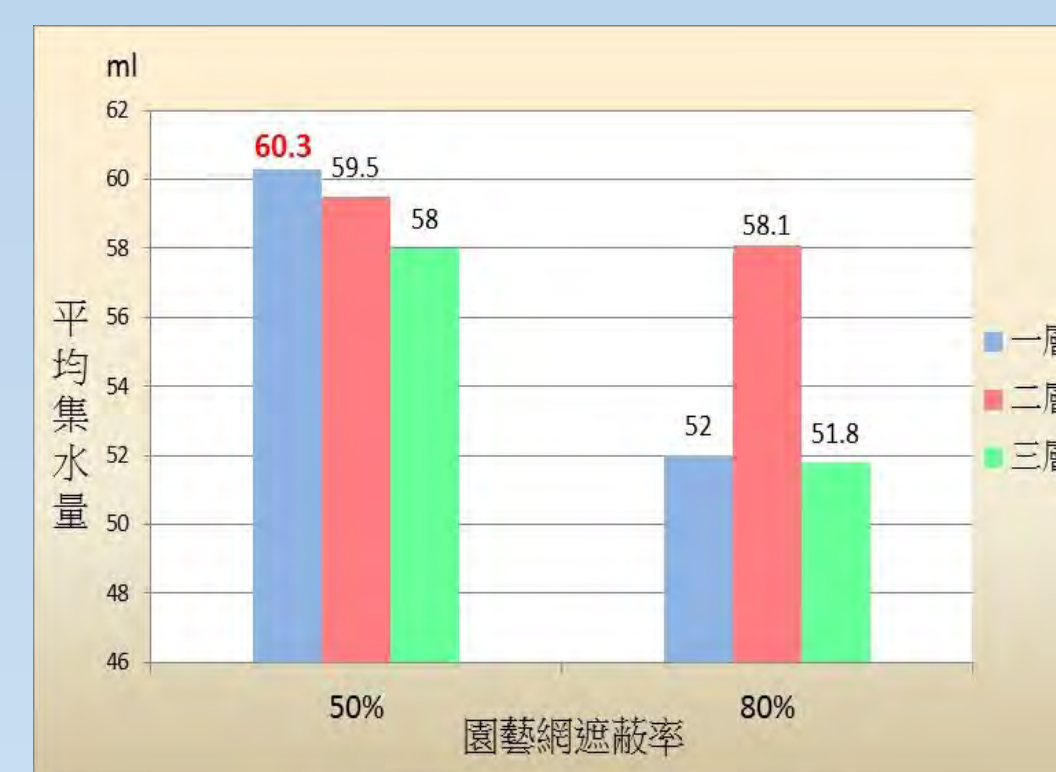


圖18：30分鐘捕霧效果的比較



圖19：不同層數遮50% 黑網在不同捕霧時間集水量的變化

(二) 淺色塑膠紗網則大多隨著層數增多，集水量微量增多，集水量的變化趨勢大多以10分鐘到20分鐘的集水效率較佳。



圖20：10分鐘補霧效果的比較



圖21：20分鐘補霧效果的比較



圖22：30分鐘補霧效果的比較

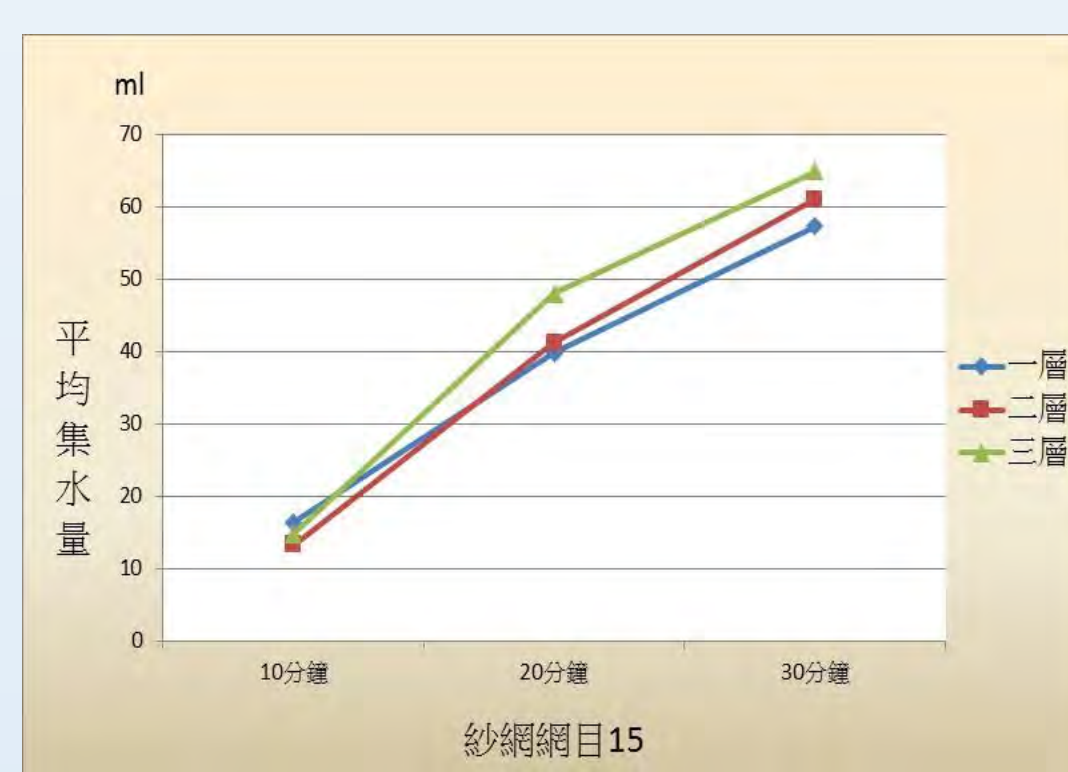


圖23：不同層數的網目15紗網在不同捕霧時間集水量的變化

(三) 黑色塑膠網布重疊的層數太多(三層)時，集水量不增反減，我們推測可能也與「水牆效應」有關，當重疊的層次越多，可能會受重疊的影響，使得網孔大小變得相對較小，所以集水量不增反減。

五、比較風向、架設高度與風速變化對捕霧網集水效率的影響

(一) 噴霧風向越側面(與網面夾角越小)，集霧效率越差。集霧網架設高度較高，使霧水主要打在網面的下方時，集霧效率較好 ⇒ 所以在架設捕霧網時除了要正對風向外，還要注意當地霧氣的高度，網子高度不要架設的太低。

表3：不同風向捕霧網的集水量(集水量單位：毫升)

風向位置 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
與網面夾角90度	14	14	14.5	14.5	14	14.2
與網面夾角45度	13.5	10.5	12	11.5	11	11.7
與網面夾角30度	11	9.5	10.5	8.8	9	7.9
網面上方1/3	11.5	11.5	12	12.5	12	11.9
網面下方1/3	17.5	16	17	16	17	16.7

(二) 開放式空間集霧，以我們測試的風速範圍，風速越快，集水量越少 ⇒ 推論是霧氣通過網子的速度過快，反而無法順利集結成水珠。

表4：開放式空間集霧不同風速捕霧網的集水量(集水量單位：毫升)

集水量 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
風速1 (0.8m/s)	14	14	14.5	14.5	14	14.2
風速2 (2.6m/s)	9.4	11	11.5	11.3	11	10.8
風速3 (3.5m/s)	9.7	9.7	9.2	9.2	9.6	9.5

(三) 半封閉式空間集霧(整理箱集霧設備)，20分鐘的集水量低於開放空間10分鐘的集水量，可能因為霧氣不易離開箱子而沉積，使箱子內呈現一個水霧過飽和的狀態，因此造成類似「水牆效應」，形成一道「水霧牆」阻擋霧氣通過網子，使得捕霧效率變差 ⇒ 推論捕霧時風速也不可過慢。

六、設計戶外實測模組並實地測量：捕霧網在台灣應用的可行性

(一) 台灣地形海拔高度變化大，由於地形及氣流所造成的微氣候，在特定的地點容易形成雲霧，應該也相當適合捕霧網的設置。我們實際到嘉義隙頂的實驗獲得相當好的成效。



圖24：隙頂附近上升的谷風形成上坡霧



圖25：捕霧網實測模型圖

(二) 嘉義隙頂實測結果：風速對霧水的收集影響很大，當環境風速低時收集13小時的集水量只有149毫升，遠不如在環境風速高時收集1.5小時的集水量190毫升。

表5：嘉義隙頂捕霧網實測地點及集水量結果(集水量單位：毫升)

時間	地點	網子尺寸 cm×cm	風速 m/s註1	溫度 ℃	濕度 %	集水量 ml
2017.3.18, 18:20 ~2017.3.19, 7:20	嘉義縣番路鄉觸口村 車埕51號停車場	75×75	1.38	15	95	149
2017.3.19, 13:00~14:30	隙頂二延平步道第二平台	75×75	3.06	19	70	190
2017.3.19, 13:00~14:30	隙頂二延平步道第二平台	60×50	3.06	19	70	118



圖26：隙頂停車場實驗組



圖27：隙頂二延平步道第二平台實驗組



圖28：水珠附著捕霧網



圖29：觀察水珠形成

陸、結論

- 一、使用我們設計的捕霧裝置可以用來測定各種捕霧網的捕霧效率。
- 二、網孔的大小會影響捕霧效果，網孔太小的捕霧網容易形成「水牆效應」反而不利於捕霧。另外網布編織法對捕霧效果也有影響，較複雜編織法的塑膠網集水量較多。
- 三、實際應用在日常生活上，考量成本與效益，目前我們建議是以單層園藝用黑色塑膠網遮蔽率50% 或60% 的網子製作捕霧網即可。
- 四、正對風向架設捕霧網效率最佳。
- 五、架設捕霧網前時須先觀測當地霧氣的高度，網子的高度不可太低。
- 六、環境的風速過慢，霧水容易積聚在網子四周造成類似「水牆效應」而不利於集水，但當風速過快帶動水霧快速通網子也會使水霧來不及集結成水珠而無法集水。
- 七、台灣地形海拔高度變化大，由於地形及氣流所造成的微氣候，在特定的地點容易形成雲霧，應該也相當適合捕霧網的設置。
- 八、台灣近幾年只要冬季雨量不足隔年春季就常會有缺水的危機，如果能選擇適合的地點架設捕霧網，相信對於解決缺水問題一定能有所助益。

柒、未來研究方向

- 一、找出最適合製作捕霧網的材質、網孔大小、形狀，並找出最適合捕霧的環境條件
- 二、調查全台灣有條件能夠適合架設捕霧網的地點。
- 三、設計出方便可攜式捕霧網，除了更輕、更方便攜帶架設。