

三義雲霧水蒐集效率之初步成果

林博雄¹ 張譯心¹ 盧濟明¹ 王璿瑋¹ 林敏朝²

¹國立臺灣大學大氣科學系

²佛教慈濟慈善事業基金會

摘要

本研究藉由三義茶園現地氣象環境監測以及攔截網之架設，來定量研判三義慈濟茶園雲霧發生月份時間與頻率，測試雲霧水攔截網特性與霧水蒐集量，以及其和能見度和風速風向等氣象參數的關聯性。雲霧攔截觀測實驗由 2013 年 12 月 23 日起自 2014 年 4 月 30 日止，總計 12 套攔截網以及一套臨時氣象站設置於三義慈濟茶園。其中一組攔截網之下設置一套筒口加蓋的傾斗式雨量筒，直接記錄攔截網所蒐集的水量(簡稱 FNR)。在 2014 年 1 月 23 日中午到 4 月 9 日上午(77 天)期間，總共紀錄到 29 場顯著(FNR 紀錄在五分鐘之內有 $\geq 5\text{mm}$ 水量流入以及持續一小時以上)的雲霧事件，其中有 5 次雲霧事件持續時間超過 12 小時，發生在 2 月上中旬與 3 月上旬，綜觀環流氣象特徵都是顯著大陸冷氣團南下為台灣引入東北季風和冷鋒雲帶和雨勢。三義地區降水紀錄以及其他雲霧顯著個案大都發生在深夜、凌晨、清晨到上午這一區段，發生頻率高於下午到夜間區段。臨時氣象站傾斗式雨量筒水量(簡稱 VDR)在 77 天內總計累計 178.4mm，但是水平移動的雲霧被攔截並進入 FNR 雨量筒高達 31662mm，是 VDR 雨量筒數據的 177 倍，平均 1m^2 有 106 公升水量蒐集率。最有效的雲霧水攔截量發生在 $2\sim 5\text{ms}^{-1}$ 強度的東北風，風速太小或是風速太大都對應較低的雨霧攔截量。雲霧發生當時的相對溼度都高達 95~100%，氣溫則在 20°C 以下、能見度小於 1 km，甚至大部分時間都低於 500m。

一、前言

因應地理與氣候特性，霧水攔截應用在各大洲部分國家已行之有年(Schemenauer and Cereceda, 1994)，所獲得的攔截水量約 $3\sim 10\text{L/m}^2$ (Klemm et al., 2012)。台灣部分地區年平均降雨量高達 3000mm，但是冬夏季節降水量極不均勻，台灣西部苗栗以南平原地區冬半年(每年 10 月到隔年 3~4 月)都屬於旱季(邱等，2004; 2005)，農業耕作型態因應這一氣候特徵而有所限制。氣象上，降雨量測量是透過地面雨量筒來蒐集天空所落下的雨水，因此可被稱之為「垂直性降水」。台灣島嶼的中海拔(500~1500m 高度)山區植物與森林經常處於雲

霧籠罩地帶，透過清晨與黃昏時刻的露水和雲霧飄移來吸收水氣，這類型的水資源含量並不會被地面雨量筒所記錄，因此可被稱之為「水平降水」。雲霧飄移和樹木植物等地接觸所截留的水氣造就台灣雲霧生態之特有性(國家公園季刊，2011)。然而，這種類型的攔截水量並沒有被一般常態性的氣象或水文測站所定量記錄。

慈濟三義園區地處苗栗台中交界處大安溪北岸的三義山丘(苗栗丘陵)，海拔高度約在 450~550 公尺，由於該地南高北低縱向山形地勢與東北風氣候條件，造成該地區每年冬季到春季期間時有低雲霧現象。但是從交通部國道高速公路局苗栗三義國道一號高速公路路局

架設能見度儀器資料(保持失效)，以及中央氣象局三義自動氣象站(2011年11月啟用)小時氣象資料，都無法明確得出三義山丘地區氣象資料與雲霧發生的關聯性。慈濟三義園區所生產的「靜思茶」乃採用自然有機方式種植，不用任何化肥，由於冬季灌溉用水需求短缺，靜思人文曾提出鑿井灌溉計劃，但基於節能減碳及自然資源的運用，乃有尋求其他可能替代方案之構想。本研究經由三義山丘新設的氣象觀測以及捕霧網設施，來記錄雲霧發生確切時間以及捕捉霧水，探討慈濟三義園區茶園進行霧水蒐集之可行性，並做為該園區在生態與環保教育的實際教案。

二、設備與資料來源

本研究為了兼顧材料經濟性與實用性，雲霧攔截網支架、網面材料與儲水溝槽等配件，均以台灣五金與園藝材料器材店容易購買取得的來源為主要考量因素。2013年12月至2014年4月(5個月)期間所架設的臨時性雲霧攔截網結構示意圖與實際樣品如圖1所示，角鋼支架高度3.6m，攔截網高1.8m、長3m、下緣離地1.8m，並有角鋼橫撐架和塑膠排水管線到20公升塑膠水桶。為求安裝和維修便利性，攔截網上緣使用童軍繩拉開網面，並且利用四枝角鋼和30cm營釘將兩側斜撐加以穩固在土面。這一設計是為不使用水泥灌漿破壞地表植被，以及拆卸與維修的便利性考量。攔截網網面材質是吉田塑膠公司所生產的農藝用黑色遮蔭網型號610(遮光率50%)以及型號1010(遮光率70%)，網面選擇黑色是為防止鳥禽誤撞網面而受傷。攔截網架設分散在茶園A1、A2與B1等三區。A1和B1兩區各置放一組十字形排列霧水攔截陣列，測試不同風向風速的攔截效率。A2區是西向陡降斜坡地，將依照該斜坡地勢由下往上置放兩排攔截網(每排2張攔截網)，各以50%和70%遮光率網面來測

試不同網目密度的雲霧攔截效果。三處地點總共12張攔截網，嘗試評估每一區的霧水攔截量。

由於中央氣象局三義自動氣象站位於三義國中校園內(測站海拔高度341m)，低於慈濟茶園A1區臨時氣象站(測站海拔高度520m)約180m。本研究為了確認慈濟茶園氣象條件的日夜和季節變化，乃於A1區臨時架設氣象站，觀測項目計有風速、風向、氣溫、相對濕度、太陽輻射量、雨量(以下簡稱vertical drop雨量筒，VDR)，以及雲霧偵測設備(包含定時拍攝之數位相機與光學性霧偵測器)，由一片20W太陽能光電板和一組汽車用蓄電瓶加以供電。

觀測期間的霧水桶裝紀錄、傾倒集中與水桶重新置放，初期規劃是由茶園志工協助處理；然而攔截網運作第一個月後發現20L水桶經常快速注水並滿溢，無法一一巡視和落實定量記錄每一水桶水位高度，並干擾原有茶園常態工作之進行。因此本研究於2014年1月23日於A1區最靠近氣象站攔截網下方，取消20L水桶並置放與一旁氣象站同型號的雨量筒(以下簡稱fog-net雨量筒，FNR)來承接攔截網所蒐集的水量，這一新增雨量筒(有上蓋避免雨水直接滴落)併入氣象站定量紀錄來取代人工紀錄。

三、資料分析與結果

根據慈濟茶園A1區臨時氣象站一旁攔截網的FNR雨量筒，在2014年1月23日到4月9日期間(77天)每五分鐘紀錄數據，本研究篩選出該雨量筒在五分鐘之內有 $\geq 5\text{mm}$ 水量流入以及持續一小時時間以上的事件(共29個案，表1)，來探討攔截網攔截顯著雲霧水量的天氣特徵。若依持續時間長短可再分類為：(A)持續時間超過24小時，2次個案。(B)持續時間12~24小時，3次個案。(C)持續時間06~12小時，9次個案。(D)持續時間03~06小時，7次個案。

(E)持續時間 01~03 小時，8 次個案。其中(A)(B)兩類型五次個案(持續時間超越 12 小時)在 2 月上中旬與 3 月上旬，綜觀環流氣象特徵都是顯著大陸冷氣團南下為台灣引入東北季風和冷鋒雲帶和雨勢。這幾天三義地區的降水紀錄以及其他個案都顯示發生在深夜、凌晨、清晨到上午這一區段的頻率，高於下午到夜間區段。圖 2 是攔截網在雲霧發生期間的遠景和近照，水滴順延網面滴入傾斜的集水槽再流進支架一旁的水桶或是 FNR 雨量筒。

我們透過 VDR 雨量筒(臨時氣象站)和 FNR 雨量筒(攔截網下方)兩套雨量筒資料，來定量評估攔截網蒐集霧水水量效果。兩套雨量筒(S-RGB-M002)筒口直徑都是 15.4cm，每一傾斗動作代表有 0.2mm(降)水量。圖 3 是這 77 天的進水紀錄時間序列果(兩種參數座標軸單位不同，相差 100 倍)，顯示 VDR 雨量筒累計 178.4mm，三義地區這段期間偶有少量降雨，但是水平移動的雨霧被攔截並進入 FNR 雨量筒高達 31662mm，是 VDR 雨量筒數據的 177 倍之多；顯然，面積 5.4 m² 攔截網非常有效攔截雨水和雨霧水。若是改以散布圖(scattering chart)來呈現兩套雨量筒水量的差異程度，可進一步得到 $FNR = 20.67 VDR + 1.28$ 線性關係式，相關係數是 0.47。雨霧水攔截量和風速以及風向關係呈現在圖 4，風速風向是東北風 2~5ms⁻¹ 風速太小或是風速太大都對應較低的雨霧攔截量。雨霧發生當時的相對溼度都高達 95~100%，氣溫則在 20°C 以下。能見度儀資料也顯示雨霧發生期間的能見度確實是小於 1 km，甚至大部分低於 500m，吻合氣象界所定義的「霧」天氣條件(相對溼度接近 100% 與能見度小於 1 km)。

四、 總結與展望

經由 77 天(2014 年 1 月 23 日到 4 月 9 日)三義慈濟茶園的雲霧攔截實驗，我們發現三義

山丘的水平降水量高於垂直降水達 177 倍之多，顯然雲霧平移進入三義山丘的可攔截水量相當可觀，並且發生時間以夜間到清晨時段為主，但是從傳統雨量筒觀測紀錄和農民白天的觀測體驗，反應三義冬季是呈現乾旱狀態，凸顯出當地水文特徵的認知落差。從 A1 區氣象站一旁的面向西北方位的攔截網底下的雨量筒，能蒐集到 ~575 公升水量；換言之，這一 1.8m*3.0m 攔截網平均每 1m² 有 106 公升水量的蒐集效果。假設 12 張攔截網都與這張攔截網相同設置方位與集水效率，那麼這一段期間將可攔截 ~6900 公升水量，換算成台灣自來水公司 1 度 (=1000 公升)用水量，這 12 張攔截網將蒐集到 6.9 度水量。對於水價便宜的台灣，這些雲霧被攔截網所收集的水平降水雖然折算後的經濟效益不高，但是在沒使用電力與機械來主動取水，改以完全被動式方法來收集自然來源的雲霧水平移動降水的試驗性過程，卻得到相當程度的定量證據，啟發我們對環境友善取水途徑的構想與實踐。

參考文獻:

- 邱清安，林博雄，林永發，2004: 從測站降水觀測量到臺灣地區雨量空間分布的探討。第八屆全國大氣科學研討會，桃園龍潭。
- 邱清安，林博雄，謝旻耕，2005: 台灣地區氣象測站之詮釋資料與日氣溫、日降水量之資料檢定。《氣象學報》，45, 33-46。
- 國家公園季刊，2011: 捕風捉雲感受生息_探索雲霧帶裡的秘密。三月號，30~37。
- Klemm, O., R. S. Schemenauer, A. Lummerich, P. Cereceda, V. Marzol, D. Corell, J. Heerden, D. Reinhard, T. Gherezghiher, J. Olivier, P. Osses, J. Sarsour, E. Frost, M. J. Estrela, J. A. Valiente and G. M. Fessehaye, 2012: Fog as a Fresh-Water Resource: Overview and

Perspectives. *AMBIO*, **41**,221–234 (DOI 10.1007/s13280-012-0247-8.)

high elevation regions. *Journal of Applied Meteorology* **33**, 1313–1322.

Schemenauer, R.S., and P. Cereceda. 1994a: A proposed standard fog collector for use in

表 1: FNR 雨量筒 5 分鐘累積雨量 $\geq 5\text{mm}$ 並持續 1 小時以上之個案一覽。

Day (Month/Day)	Start time	End time	Duration
2/5	00:15	07:10	6 hr 55 min
2/6	03:20	08:55	5 hr 35 min
2/8	01:00	08:20	7 hr 20 min
2/8	21:55	24:00	
2/9	00:00	24:00	31 hr 40 min
2/10	00:00	05:35	
2/11	00:35	03:35	3 hr
2/11	12:05	16:45	4 hr 40 min
2/12	15:50	21:25	5 hr 35 min
2/13	05:15	24:00	
2/14	00:00	22:30	41 hr 5 min
2/18	15:20	21:50	6 hr 30 min
2/19	00:10	19:00	18 hr 50 min
2/28	05:05	16:15	11 hr 10 min
3/2	02:25	10:25	8 hr
3/2	15:35	20:45	5 hr 10 min
3/3	01:35	11:00	9 hr 25 min
3/4	02:40	06:10	3 hr 30 min
3/4	22:40	24:00	
3/5	00:00	06:15	7 hr 35 min
3/6	17:05	24:00	
3/7	00:00	08:55	15 hr 40 min
3/8	04:30	07:00	2 hr 30 min
3/8	08:15	24:00	
3/9	00:00	07:40	23 hr 25 min
3/12	20:05	22:25	2 hr 20 min
3/13	06:20	14:40	8 hr 20 min
3/20	09:20	12:25	3 hr 5 min
3/20	14:15	16:00	1 hr 45 min
3/31	02:20	04:15	1 hr 55 min
4/1	00:40	10:35	9 hr 55 min
4/1	17:45	19:40	1 hr 55 min
4/3	17:25	19:20	1 hr 55min
4/7	06:30	09:10	2 hr 40 min
4/7	18:40	19:55	1 hr 5 min

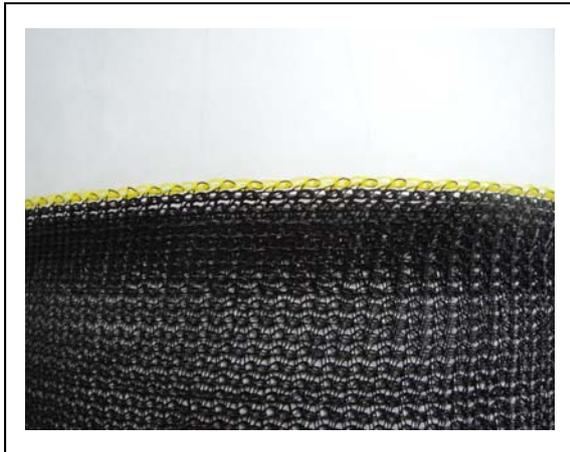
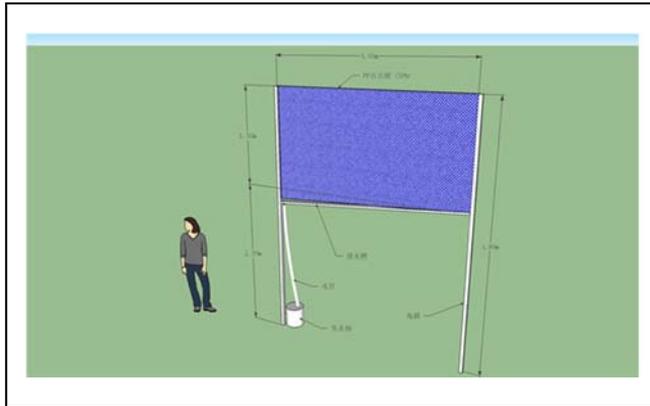


圖 1: 霧水攔截網正面圖與霧水攔截網和 20L 水桶，以及吉田塑膠公司型號 610(遮光率 50%)與型號 1010(遮光率 70%)黑色遮蔭網。

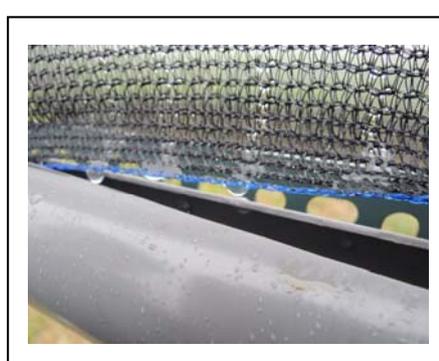


圖 2: 2014 年 2~3 月期間三義慈濟茶園雲霧攔截網現場現集水照片。

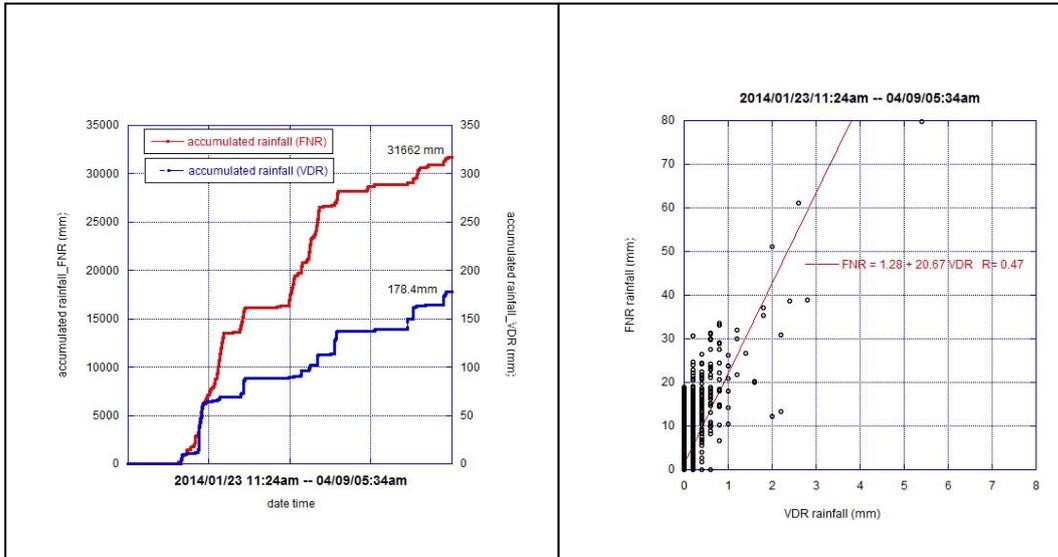


圖 3: 2014 年 1 月 23 日中午至 4 月 9 日上午期間，三義慈濟茶園攔截網 VDR 水量(藍線，範圍是 Y 軸右側)和 FNR 水量(紅線，範圍是 Y 軸左側)之時間序列與散布圖。

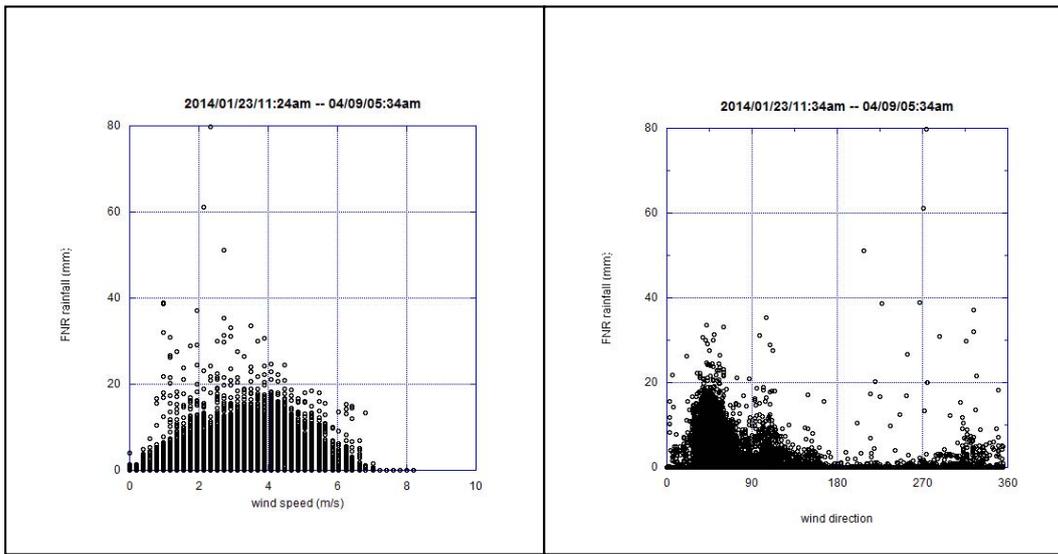


圖 4: 2014 年 1 月 23 日中午至 4 月 9 日上午期間，三義慈濟茶園攔截網 VDR 水量(Y 軸，mm)和(上圖)風速(X 軸， ms^{-1})與(下圖)風向(X 軸，degree)的關聯散布圖。