

觀霧地區雲霧環境之監測與模式建立

受委託者：國立臺灣大學

研究主持人：林博雄 博士

協同主持人：賴彥任 博士

魏聰輝 博士

雪霸國家公園管理處

委託辦理成果報告

中華民國 99 年 8 月

目錄

目錄.....	1
中文摘要.....	7
ABSTRACT.....	9
第一章 緒論.....	11
第一節 計畫緣由.....	11
第二節 計畫目標.....	14
第三節 前人研究.....	15
第二章 研究方法.....	20
第一節 研究地區簡介.....	20
第二節 研究方法與實驗設置.....	21
2-2-1 TLI (Time Lapse Images).....	21
2-2-2 NRFD 雲霧偵測器.....	24
2-2-3 NSFC 與 NCFC 雲霧攔截器.....	24
2-2-4 HOBO 氣象系統.....	25
2-2-5 中央氣象局雪霸站.....	26
2-2-6 中央氣象局天氣圖與衛星雲圖.....	27
第三章 資料分析與結果.....	30
第一節 觀霧地區雲霧發生時間與水量之特徵.....	30
3-1-1 觀霧管理站.....	30
3-1-2 山椒魚棲息地.....	34
第二節 觀霧地區雲霧發生之氣象條件特徵.....	35
第三節 觀霧地區雲霧發生可能成因之探討.....	37
3-3-1 春季.....	38
3-3-2 夏季.....	39
3-3-3 秋季.....	40
3-3-4 冬季.....	41
第四節 觀霧地區雲霧發生預警之可行性探討.....	42
第四章 總結與討論.....	45
參考書目.....	49
附錄: TLI 有效資料霧事件發生日期之天氣型態.....	89

表 1 本計畫工作項目與對應的材料、方法和結果.....	51
表 2 觀霧地區霧事件發生季節與天氣型態.....	52
表 3 2009 年 11 月~2010 年 5 月期間，山椒魚試驗地和山椒魚保育區兩處的四種氣象參數，在有霧日與無霧日的相關係數。*符號代表總平均值計算時捨去該筆數據。.....	53
表 4 觀霧地區 TLI 記錄霧事件發生的天氣型態與季節（見表 2）所占之比例.....	54

圖 1-1	安裝於 Hawaii Maui 島東向坡的平面式(左)與柱狀式(右)霧水蒐集器引自 http://water.usgs.gov/nrp/proj.bib/hawaii/maui_fog.htm 。	
		56
圖 1-2	中央氣象局觀霧遙地氣象站(1987 年~2007 年設置於樂山林道路旁)。	57
圖 1-3	觀霧管理站山椒魚試驗地 FDID(Fog Detection and Interception Device)現場。	58
圖 1-4	觀霧管理站警察小隊通訊大樓 TLI 現場。	59
圖 1-5	Caltech Active Strand Cloud Collector (sf-CASCC) 引自 http://lamar.colostate.edu/~collett/instrumentation.html 。	60
圖 2-1	(上)觀霧管理站(星點)周遭山脈與流域平面圖，(左下)Google Earth 由西向東俯瞰圖，以及從觀霧俯瞰樂山(右下)。	61
圖 2-2	觀霧管理站山椒魚試驗地 HOBO 氣象站。	62
圖 2-3	巨木林道 2.5K 山椒魚棲息地 HOBO 氣象站與 RECONYX 數位照相機。	62
圖 2-4	觀霧管理站東方山谷 DIA 分析位置和其與 TLI 相機的相對距離。左區 65 公尺(輕霧)，中區 23 公尺(大霧)，右區 27.5 公尺(大霧)。	63
圖 2-5	巨木林道 2.5K 西方山谷 DIA 分析位置和其與 TLI 相機的相對距離。左區 26 公尺(大霧)，中區 67 公尺(輕霧)，右區 24 公尺(大霧)。	63
圖 2-6	美國航空太空總署(NASA) AERONET (Aerosol robotic network) 用來偵測下雨事件的 wet sensor 。	64
圖 2-7	本計畫設計的 NTU Resistance Fog Detector (NRFD)感測電路板(右)及其實品，NRFDS 電刷間距 0.4mm，NRFDD 電刷間距 0.1mm 。	64
圖 2-8	NRFDS 與 NRFDD 實際安裝現場。	64
圖 2-9	(上)NCFC 與 NSFC 尺寸圖。(下)NCFC 和 NSFC 實品、傾斗式雨量筒、PIC 記錄器、電池箱以及氣象站，以及 1.5mm 網目、遮蔽率 50%的攔截網近照。	65
圖 2-10	(上)HOBO S-LWA-M003 葉片濕潤度感測器(下)增加遮罩與感測面朝下的葉片濕潤度感測器。	66
圖 2-11	中央氣象局雪霸遙地氣象站。	66
圖 2-12	中央氣象局每日天氣概述單樣本。	67
圖 2-13	中央氣象局 WINS 系統霧區加值產品圖樣本(2009 年 8 月 31 日 10:00UTC)。	67
圖 3-1	2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日白晝(6:00am 至 6:00pm)	

觀霧管理站之不同霧濃度發生的總百分比(分母為所有 TLI 有效記錄筆數)。	68
圖 3-3 2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日白晝期間，觀霧管理站不同霧濃度事件在各月份發生的相對百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數)。	69
圖 3-4 2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日觀霧管理站白晝不同時段霧濃度發生的百分比(分母為所有 TLI 有霧發生之筆數)。	69
圖 3-5 觀霧管理站 2008 年 7 月至 2010 年 6 月輕霧發生相對百分比(各月份輕霧總量為分母)之逐月變化，由上而下分別是清晨、上午、下午、黃昏時段。	70
圖 3-6 同圖 3-5，但為大霧。	71
圖 3-7 臺灣大學大氣科學系霧風洞(Fog Tunnel)示意圖與量測現場。	72
圖 3-8 2009 年 11 月 19 日至 2010 年 6 月 12 日白晝(6:00am 至 6:00pm)山椒魚棲息地之不同霧濃度發生的總百分比(分母為所有 TLI 有效記錄筆數)。	73
圖 3-9 2009 年 11 月 19 日至 2010 年 6 月 12 日白晝期間，山椒魚棲息地各月份霧事件發生的百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數，但扣除輕霧大霧重覆發生的次數)。	73
圖 3-10 2009 年 11 月至 2010 年 6 月白晝期間，山椒魚棲息地不同霧濃度事件在各月份發生的相對百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數)。	74
圖 3-11 2009 年 11 月 19 日至 2010 年 6 月 12 日山椒魚棲息地白晝不同時段霧濃度發生的總百分比(分母為所有 TLI 有霧發生之筆數)。	74
圖 3-12 山椒魚棲息地 2009 年 11 月至 2010 年 6 月不同時段不同濃度霧事件發生相對百分比(以各月份各霧種總量為分母)之逐月變化，由上而下分別是輕霧、大霧。	75
圖 3-13 2010 年 4 月 18 日(有雨日)山椒魚試驗地(左)每分鐘相對濕度(紅線)與 DLW(黑線)時間序列圖，紫線為雪霸站降雨時段。(右)相對濕度與 DLW 散布圖。	76
圖 3-14 同圖 3-13，但為 2010 年 4 月 1 日(無雨日)。	76
圖 3-15 2009 年 11 月~2010 年 4 月期間，山椒魚棲息地扣除山椒魚試驗地相對濕度差值(%)的逐時變化，(上)有霧日(下)無霧日。	77
圖 3-16 同圖 3-15，但為氣溫(°C)。	78
圖 3-17 2009 年 3 月 13 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖(冷鋒)。	79
圖 3-18 2009 年 5 月 27 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖	

(滯留鋒)。	79
圖 3-19 2009 年 3 月 23 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (華南雲雨帶)。	80
圖 3-20 2009 年 4 月 26 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (臺灣低壓)。	80
圖 3-21 谷風在山坡形成的雲霧示意圖。	81
圖 3-22 谷風在山頂或稜線形成的雲霧示意圖。	81
圖 3-23 2009 年 8 月 28 日 00:00UTC 地面天氣圖(微弱太平洋高壓低壓)。	82
圖 3-24 2009 年 7 月 13 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (熱帶低壓)。	82
圖 3-25 2009 年 11 月 9 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (鋒前次環流)。	83
圖 3-26 2009 年 11 月 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖(海 上低雲)。	83
圖 3-27 東北季風在迎風面爬升的成雲機制示意圖。	84
圖 3-28 2009 年 2 月 13 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (東北季風)。	84
圖 3-29 2010 年 1 月 11 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (鋒面雲系)。	85
圖 3-30 2009 年 2 月 24 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖 (華南雲雨帶)。	85
圖 3-31 2009 年 11 月~2010 年 4 月期間，觀霧管理站扣減雪霸氣象站 的逐時氣溫差值(°C)。	86
圖 3-32 同圖 3-31，但為相對濕度差值(%)。	86
圖 3-33 MTSAT 低雲/霧每夜之計次(X 軸)和的 DLW(Y 軸)的散布圖 (上)山椒魚試驗地(下)山椒魚棲息地。	87

中文摘要

本計畫經由雲霧偵測攔截整合裝置、數位相機定時自動拍攝與影像分析方法，架設於山椒魚試驗地和山椒魚棲息地的氣象站，和中央氣象局衛星中心製作的 MTSAT IR 頻道的低雲/霧加值產品等方法，完成觀霧地區雲霧環境監測與模式建立的目標。資料綜合分析顯示，無雨有霧天氣類型下，觀霧地區水平降水量約是垂直降水(雨量)11%，如果再將有雨有霧併入計算，水平降水量約是垂直降水量的~34%之多。觀霧管理站(山椒魚試驗地)霧事件「發生的天數」頻率是 86%，「輕霧」、「大霧」的比例是 79.3%與 78.3%。不同季節的霧發生相對頻率(發生次數)依序是春季(29.5%)、夏季(21.7%)、冬季(12.9%)、秋季(11.2%)。再以月份細分，霧事件發生的前二大相對頻率和月份分別是 4 月(49.2%)、6 月(43.0%)，最低發生相對頻率和月份則是 2009 年的 5 月(2.3%)。白晝四時段中的霧發生相對頻率則是下午 27.3%、上午 25.3%、清晨 24.0%、黃昏 23.3%。巨木林道 2.5K(山椒魚棲息地)霧事件「發生天數」頻率則高達 96%，「輕霧」、「大霧」的百分比則是 51.6%與 87.9%。以 11 月(78.5%)和 5 月(58.4%)分別是相對頻率(發生次數)的最大值和最小值。白晝四時段中的霧發生相對頻率以清晨最高(42%)，其次是下午的 29%、上午的 16%和黃昏的 14%，這一結果比樂山林道東

側的觀霧管理站結果的四時段分布更為不均勻。

西向坡的山椒魚棲息地較東向坡的山椒魚試驗地來得為潮濕和低溫，特別是在中午之前直射陽光尚未照射到西向坡的巨木林道，這一差值在有霧日之時更放大~2倍，間接突顯山椒魚生態環境的特徵。本文也綜合整理觀霧地區霧事件發生之綜觀天氣背景條件，和評估出中央氣象雪霸氣象站推估觀霧管理站氣象的相關性。本計畫得出以80%為臨界值的潮濕度參數 DLW(Downward Leaf Wetness)，比傳統的相對濕度(RH)更能具體反應降水和霧水的發生與結束，能做為簡易又較精確的雲霧偵測判定指標。透過 DLW 驗證 30 分鐘頻率的地球同步衛星 MTSAT IR 頻道的低雲/霧加值產品，發現兩者沒有相關，但得出 $DLW > 80\%$ 以上時，MTSAT 影像所判定的觀霧低雲/霧發生一定會超過 10 次/夜。我們認為現階段的衛星雲霧遙測與地面實測結果仍有顯著落差，無法做為雲霧生態與交通預警之使用。

關鍵字: 雲霧、水平降水、MTSAT 地球同步衛星、山椒魚

ABSTRACT

In order to quantify the cloud-fog water amount, its existence length and monthly variation at Kuanwu recreation area in Shei-Pa National Park, several devices and data sources were used to approach this object. They include the FDID (Fog Detection and Interception Device) system, time-lapse images from auto-shoot camera, two micro-meteorological stations besides *Hynobius formosanus* recovery pool and habitat, MTSAT IR channel differential product for low cloud/fog detection. After the near 28-month field observation and data collection, we found the foggy day with no rain could provide 11% extra water amount compared to annual rainfall. If the foggy water was counted in all days, it could contribute extra 34% amount of water for Kuanwu region. The fog frequency in Kuanwu office (near *Hynobius formosanus* recovery pool), is 86% with the relative frequency, 79.3% and 78.3% of light and heavy of fog events. The data shows the seasonal fog frequency is 29.5% for spring, 21.7% for summer, 12.9% for autumn and 11.2% for winter. We found the higher fog frequency happened in April (49.2%) and June (43%). The maximum frequency in daytime is in the afternoon (12:00 to 15:00 LST). At the *Hynobius formosanus* habitat, the relative frequencies of different fog densities are 51.6% for light and 87.9% for heavy. November and May are the months which has the maximum and minimum frequency of fog event, and the morning section (6:00 to 9:00 LST) has the maximum frequency (42%). We found the *Hynobius formosanus* habitat (located at the western slope of Le-shan trail) is more humid and colder than *Hynobius formosanus* recovery pool which at the opposite eastern slope. This difference was more significant before the noon (solar effect) and grew twice during foggy days. The patterns of synoptic weather circulation in foggy days were listed and discussed in this study.

Meanwhile, the weather similarity between Shei-Pa Farm and Guanwu office were discussed through the correlation of temperature and relative humidity records. A new parameter, downward leaf wetness (DLW) designed in this study was compared with the relative humidity for fog detection. We suggest that 80% of DLW could be treated as the threshold of fog event. The large-scale coverage of remote fog product from MTSAT satellite was validated by DLW data. The result shows that there exists large gap between remote sensing and ground measurements, and the pre-warning of fog event from MTSAT 30-min time interval images is impossible at this stage.

Keywords: cloud-fog, horizontal precipitation, MTSAT geostationary satellite, Hynobius formosanus

第一章 緒論

第一節 計畫緣由

霧的發生型態可區分為三類，分別是「輻射霧」、「平流霧」和「地形霧」，以臺灣地區為例，嘉南平原地區屬於「輻射霧」性質，大都發生在冬天晴朗無雲的夜晚，夜間透過地面輻射冷卻作用，使低層空氣溫度下降達飽和狀態而形成霧，直到太陽天頂角越來越小(日出後時間越來越長)，地面溫度回升，空氣達未飽和狀態，霧即消散；最有利於嘉南地區霧形成的天氣型態是中國大陸冷高壓系統存在，並且地面風速不強的時段。金門馬祖地區則屬於「平流霧」性質，只要風向風速適宜，某海面或廣大平原的霧一旦形成，往往可以持續一段相當長時間；除非風向改變，阻斷暖溼空氣來源，平流霧才會消散。有利於金門馬祖地區霧事件發生的天氣型態為當中國大陸高壓系統減弱，盛行風不強，海陸風帶來洋面上的水氣而形成霧區(曾與陳，2008)。至於「地形霧」，指的是山地斜坡地區因潮濕氣流爬升濕空氣因氣溫下降而飽凝結成地形雲或是霧。臺灣山區 1500~2500 公尺上下的雲霧帶的大氣條件，創造特有的生物繁衍環境(蘇，1984)，臺灣北迴歸線以北的中央山脈更因東北季風盛行條件，雲霧日的長度更勝於臺灣中南部山地。臺灣地區中央氣象局於 1990 年代逐年建立的遙地自動

氣象站廣布全臺，然而這些氣象自動測站僅有風場、溫度、濕度、雨量 and 日照時數，霧水並未被納入常態觀測項目，現有的相對濕度參數也不足推演霧水的發生結束時間、濃度和相當水量。Gultepe et al. (2009)曾探討 6 種相對濕度(RH)和能見度儀(visibility meter)量測的能見度距離(VIS)兩種參數的函數關係，惟這類 VIS-RH 函數的因地性很高，臺灣民航氣象單位或有自行研究探討機場開闊地的能見度變化，但是山地林木植被的蒸發散效應的高 RH 特徵，會讓這一函數逼近方法不甚理想。能見度儀雖然是世界氣象組織所建議的設備，但是其價格和電力需求都難以在森林生態調查上使用。和臺灣處於相同緯度的美國夏威夷 Maui 島以及中美洲波多黎各雨林，曾針對該地區(山地)進行水平降雨(或稱霧水)直接蒐集研究，其研究設備(圖 1-1)與資料發現這些霧水約佔當地年雨量之 30% (見 1-3 節)。由美國 UNEP(United Nations Environment Program)和 WCMC(world conservation monitoring centre)合作進行的熱帶山地雲霧森林計畫(Tropical Montane Cloud Forest)，也持續針對北緯 23.5 度到南緯 35 度雲霧森林進行調查；此外，延展全球氣候變遷的議題，臺灣生態界學者也懷疑臺灣地區因局地氣候增溫而促使雲霧帶升高的可能；因此，臺灣大學實驗林已於 2008 年針對塔塔加地區進行雲霧推移的調查計畫，這些科學議題都需進一步定量確認山地雲霧的發生頻率與濃度，其中更以雪霸國家公

園觀霧遊憩區(海拔高度~2000 公尺)的地理景觀特殊性，更是定量觀測記錄雲霧濃度與滯留時間長度的理想地點。

本團隊於 2008 年完成中央氣象局觀霧遙測氣象站(圖 1-2)過去 20 年(1987 年~2007 年)期間，5 種氣象參數的逐時觀測資料分析，並設計「雲霧偵測攔截整合裝置」(Fog Detection and Interception Device，以下簡稱 FDID)來交叉驗證霧的發生與濃度；FDID(圖 1-3)是由三款雲霧偵測器(NLFD、NRFDS、NRFDD)和兩款雲霧攔截器(NSFC、NCFC)所構成，再配合 TLI(Time Lapse Images)數位相機定時自動拍攝(圖 1-4)以及 DIA(Delphi-based Image Analyzer)影像分析等方法，來建立雲霧影像辨識與霧水量蒐集相互驗證的觀測策略與經驗。

2008 年 6 月到 2009 年 1 月彙整的資料分析顯示，夏季霧事件好發於午後，秋冬季節則集中於早上與上午，濃霧事件多集中在午後發生。觀霧地區因雲霧所帶來所謂的水平降水量，若僅以「有霧無雨」天氣條件來估計，約佔垂直降水量的 9.3%。如果包含「有雨有霧」天氣條件一併估計，觀霧地區水平降水量可達垂直降水量的 37%之多。然而這 8 個月觀測未滿一年，並且設備時因電力或其他因素而中斷，資料完整性不盡科學調查研究所需。

第二節 計畫目標

本計畫延續上一年的現地觀測調查時間長度，並根據第一年的野外調查實務經驗，適度調整 FDID 和 TLI 觀測策略，包括：

- 取消效果不顯著的 NLFD 雲霧光學偵測器，保留 NRFD (含 NRFDS 與 NRFDD) 電阻式雲霧偵測器 (見 2-2-2 節)。
- 保留效果顯著的 NSFC、NCFC 等兩款雲霧攔截器(見 2-2-3 節)。
- 雲霧定時自動拍攝方面，更新警察小隊通訊樓數位相機(電力持續效果更佳)，和增添巨木林道山椒魚棲息地拍攝(見 2-2-1 節)。
- 微氣象系統監測方面，更新山椒魚試驗地(觀霧管理站北側)原有 Vaisala MAWS 氣象系統，改用全新的 HOBO 低電力氣象系統，並在巨木林道山椒魚棲息地也新增 HOBO 低電力氣象系統(見 2-2-4 節)。
- 蒐集與分析中央氣象局衛星中心發展的 MTSAT 地球同步衛星的低雲/霧辨識加值產品和加以驗證(見 2-2-6 節)。

根據上述觀測設備與方法，本計畫協助雪霸國家公園管理處完成以下

目標：

1. 定期觀測記錄觀霧地區雲霧發生之時間。
2. 定期觀測記錄觀霧地區雲霧發生之水量。
3. 完成觀霧地區完整雲霧氣象資料收集並加以分析。
4. 分析觀霧地區雲霧發生之可能成因。

5. 簡要評估濃霧對觀霧地區交通安全預警之可行性。
6. 建立完整的雲霧監測模式。
7. 與觀霧地區鄰近之中央氣象局遙地自動氣象站之資料進行分析比對。

第三節 前人研究

雲、霧與降水都是地球系統水文循環過程中重要的因子，大氣科學領域主要以探索(1)雲和降水的時空分布(2)乾旱或暴雨極端個案(3)雲對大氣環流氣候之影響等三大議題為主。霧水的研究絕大部份停留在雲微物理學的實驗室水滴形狀觀察和化學成份分析與凝結核大小等問題(王，1996；陳，2004)；此外，「低能見度」影響海陸空交通的應用性題目也大都在民用航空學的領域探討(簡，2007)。

氣象觀測實務上，將相對濕度高於 75%、能見度介於 1~10 公里的無降水天氣現象稱之為靄(mist)或是輕霧；能見度低於 1 公里、相對濕度接近 100%稱之為霧（中央氣象局，1986；WMO，1996）。航空氣象則領域根據跑道能見度來定義霧的濃度，共區分為三類：

- 能見度在 200~1000 公尺之間稱為「霧(fog)」。
- 50~200 公尺稱為「大霧(thick fog)」。
- 50 公尺以內稱為「濃霧(dense fog)」。

現今全球綜觀(synoptic)氣象測站運作規範下，雲、霧與降水這三種水文氣象因子當中，只有「雨水」量測為儀器之定量量測，除了航空氣象站和農業氣象站之外，雲與霧的觀測都以觀測員眼睛主觀性的定性記錄為主；因此，臺灣地區中央氣象局無人管理的遙測自動氣象站量測項目，也並未納入雲量雲高雲狀，以及能見度(霧的發生和濃度)的觀測。

雲霧的粒徑約在 10~100 μm ，雲霧對於陸域生態，尤其是森林，是非常重要環境因子指標；Stadtmuller(1987)首先提出「雲霧帶森林」，常見的類似術語包括 dwarf forest、elfin woodlands、mossy forest 和 montane rainforest 等等。這些雲霧帶森林位置，大都在潮濕的(亞)熱帶山區，分佈呈現破碎和列島嶼狀。一般來說，隨著高度增加，森林的植物種類與外型也會跟著改變，如樹形會變小、葉形亦會隨高度增加而變小，附生植物的種類趨於豐富且多樣化 (Merlin and Juvik, 1995)。由於浸沒在雲中的影響，其中附生植物在雲霧帶森林扮演了很重要的角色，並且支配森林中的光線循環、水循環與氮循環等 (Benzing, 1998)。附生植物也建造了豐富的環境，提供這種動物生存空間與食物的來源(Richardson et al., 2000)。因此，雲霧帶森林地域內擁有很高特殊動物比率，其維護生物多樣性的功能更不可忽視。

生態學者對於雲水 (cloud water) 的學術研究，經常透過

size-fractionating Caltech Active Strand Cloud Collector (sf-CASCC，圖 1-5; Demoz et al., 1996) 來蒐集 $20\ \mu\text{m}$ 以上和以下不同粒徑的雲霧滴，分析其化學成份對地表生物的影響，比如 Chang et al (2003) 探討臺灣棲蘭山，以及黃與林(2002)對於臺灣大學實驗林的雲霧沉降特性。另一種雲霧水的水文應用研究，是以雲霧水攔截捕捉量的觀點來進行，比如 USGS(United States Geological Survey) 支持的 Hawaii Maui 霧滴對生態系水文收支的影響(Scholl et al., 2002)，以及 Netherlands Foundation for the advancement of Tropical Research (WOTRO) 支持的 Puerto Rico 雨林水文與能量收支計畫(Burkard et al., 2002)；他們利用平面式與柱狀式霧水蒐集器(Collett et al., 1991)，發現被攔截雲霧(水平降水)約佔當地年雨量之 30%。中央大學林能暉教授也曾利用廠商販售的柱狀式 ASCR 設備，在陽明山地區進行臺灣春季雲霧水收集，做為境外污染物長程傳送的酸雨分析樣本。

近年來氣候變遷引發的地表氣溫升高和北極海冰範圍的減少等議題，也引發森林生態界懷疑是否霧林帶的高度也有升高現象(魏，2007)，因此臺大實驗林將透過新中橫公路沿途之氣象測站資料，於 2008 年開始進行「塔塔加地區雲霧帶推移之研究」，該研究擬利用外加的能見度儀器和測站露點溫度，探討如何應用氣候資料回推雲霧發生的存在。

雲霧隨著環境風場濕度條件和地形，有其顯著的地域性(地形霧的由來)；就水汽到小水滴的相態改變，大氣科學以舉升凝結層(lifting condensation level)來代表雲底高度。大氣行星邊界層(planetary boundary layer)的均勻混合厚度，有時也以地表到雲底高度來代表之。雲底-雲頂之間的雲水含量，如果沒有足夠外力讓水滴進行碰撞與合併降落等過程，雲水粒子就無法集結成較大粒徑而降落到地面(即所謂的降水)。地表上的雨量筒只能蒐集到這些垂直降水，雲霧移行容易在山區起伏地形斜坡上，或是圈谷內的森林植被(如樹層枝幹和樹葉)所碰撞附著，形成所謂的水平降水(horizontal precipitation)，以區別於前述氣象常規觀測的(垂直)降水。

現行的水平降水觀測方法大致可分為七類(Scholl et al.，2002; Ritter et al.，2008)，分別為：

- 穿越降水收集(through-fall)
- 幹流水收集(stem-fall)
- 替代表面收集法(surrogate surface)
- 同位素分離法(isotope method)
- 集水區質量平衡法(watershed mass balance)
- 擾流交互作用法(eddy correlation)
- 梯度技術法(gradient technique)

相較於前兩種方法，其他後五種觀測方法所需要的儀器昂貴，而且同位素分離法以及集水區質量平衡法難以觀察水平降水的時序列變化，不能滿足氣象研究的需求；擾流交互作用法以及梯度技術法則有空間尺度上的限制，比較適合應用在空間尺度較小、地形植被分布較均勻的狀態。本計畫採用 USGS 的 Hawaii Maui 霧滴對生態系水文收支的影響(Scholl et al., 2002)以及 WOTRO 的 Puerto Rico 雨林水文與能量收支計畫(Burkard et al., 2002)中，所使用的平面式與柱狀式霧水蒐集器，以相同概念與尺寸的 NSFC、NCFC 兩款設備來攔截量測觀霧地區的雲霧(水平降水)量。

第二章 研究方法

第一節 研究地區簡介

觀霧遊憩區隸屬雪霸國家公園管理，位於新竹縣五峰鄉與苗栗縣泰安鄉交界的鹿場大山東脊的鞍部地區(圖 2-1)，周遭環繞上坪溪、霞喀羅溪、爺巴堪溪與馬達拉溪之上游，以其終年雲霧飄渺而得名。觀霧管理站海拔 2051 公尺，位置榛山與樂山交會的山脊鞍部(東北-西南走向)交通線上，此一特殊的地理特徵、風場水氣條件，使得該地成為雲霧觀測實驗的理想場所。本計畫透過現地的雲霧攔截與偵測，配合中央氣象局地面天氣圖與衛星雲圖的天氣背景，來診斷分析觀霧地區雲霧發生頻率、水量和有利的天氣與氣流條件。

本計畫所設計的 FDID 系統置放於雪霸國家公園觀霧管理站北側林地內之山椒魚試驗地旁，一則方便觀測儀器之設置及電力供應，一則避免遊客好奇無心之破壞。本年度更換第一年的 Vaisala MAWS 氣象系統，改以 HOBO 氣象設備(圖 2-2)取代之。此外，因應解說志工以及「觀霧山椒魚棲地試驗及環境監測暨影像紀實」計畫陳進發導演之建議，本計畫今年度亦在巨木林道 2.5 K 林地增設一套 HOBO 氣象站(圖 2-3)，記錄該處微氣象(溫度、溼度、風向風速)與霧水感測設備以及 TLI 設備(RECONYX 戶外型數位相機)。

第二節 研究方法與實驗設置

針對 1-2 節所列的 7 項工作項目，本團隊所設計的研究材料或方法總整於表 1，以下先一一說明研究材料或方法和設置等細節，第三章各小節再分別針對各項設備蒐集資料加以分析討論。

2-2-1 TLI (Time Lapse Images)

第一年是以前 PIC 單晶片控制數位相機來定時(5 分鐘間距)記錄觀霧管理站東方(聖稜線方向)景像，以及巨木林道 2.5K 林內影像；第二年度我們基於電力管理需求，改以美國 RECONYX 戶外型數位相機取代之。這些數位影像檔案處理方式有二，一是以影音軟體串接成影像動態檔案，做為生態景觀解說之重覆播放應用；其二是透過本團隊設計的 DIA 霧影像偵測處理程序來定量標示白晝期間霧事件發生的濃度。

數位相機所拍攝的影像之數位結構是以陣列儲存許多微小的單元，這些單元稱之為畫素(pixel)，而每個畫素上又儲存了該位置上影像的色資訊—RGB 值(光學三原色，紅(Red)、綠(Green)、藍(Blue))。現行的數位影像技術在各個畫素中利用三種不同強度比例之原色光在組合成各種不同的顏色光，其顏色的解析度則利用 24 位元的方法解析，所以三種原色光各分到 8 位元，每一種原色的強度依照 8 位元的最高值 28 分為 256 個值(0~255)，用這種方法可以組合 1670 萬種顏色。舉例來說，黑色是利用無光狀態來表示，所以三原色之強度皆為 0，故其 RGB 值為(0,0,0)，而紅色光則是只有紅光存在，故其 RGB 值為(255,0,0)。利用以上的定義，設法找出霧事件發生時 RGB 值的

變化特徵，再利用此一特徵即可由影像資訊判斷是否有霧事件之發生。

在設計影像分析軟體邏輯之前，需先考慮霧事件對一均勻色彩之背景影像的 RGB 值會造成甚麼樣的影響。由於霧滴的光學散射特性會對不同光源強度，呈現白或灰白等「灰階」色彩，因此當霧事件發生時，環境之原有色彩會遭到霧的掩蓋而呈現灰階色彩。然而，灰階色彩具有一項重要的 RGB 特徵，那就是三原色的強度相等，舉例來說白色為(255,255,255)、灰色為(127,127,127)、黑色則是(0,0,0)，因此我們利用 R、G、B 三色強度值之標準差做為霧事件檢驗的第一種參考值；當 RGB 之標準差越小，其組成越接近灰階色彩，也就代表越有可能存在霧事件。其次，在實際的野外觀測時，必須考慮到現實環境中的色彩隨太陽角度以及環境(山或樹木)的遮蔽狀況而有光影上的變化；當光線不足的時候，物體會呈現接近黑色等較暗的顏色，此時 RGB 標準差雖然降低了，但卻不代表霧事件的發生。為了避免這樣的誤判，霧事件產生時之 RGB 之平均強度不能過低，這是我們的第二種參考值。綜合言之，霧事件發生時期影像之 RGB 值須具備兩項特徵：

- RGB 之標準差需低於某個閾值(μ)
- RGB 之強度平均值需大於某個閾值(σ)

當影像同時具備以上兩個特徵時，我們便可判定影像中不同區塊是否有霧事件發生。閾值的定義是透過數天的無降水、晴空再轉有霧的天氣個案之中，經由連續實際觀測影像來獲得。為相機之實際拍攝影像，在每一影像中我們選取了三個固定區塊來進行上述的閾值分析。這些區塊的選擇有三個條件：

- 不能為灰階色彩的區域

- 屬於色彩均勻的區域(例如全部都是綠色)
- 距離相機之距離不同

前兩個條件是為確保閾值分析準確性的必要條件，第三個條件則是以航空氣象的能見度值概念來定義霧事件的濃度。經過 DIA 多次影像分析測試，第一年的 BenQ 相機(位於警察小隊通訊樓)是採用「 $\mu > 85, \sigma = 5$ 」，第二年的 RECONYX 相機(位於警察小隊通訊樓，與 BenQ 相機相同位置)則因應相機感光元件不同而修正為：

$$\mu > 120, 20 < \sigma < 45$$

以延續第一年影像資料的判定(有無霧的發生)。位於巨木林道 2.5K 山椒魚棲息地樹幹上的 RECONYX 相機，影像中三處固定區塊的閾值分別為：

$$\mu > 136, 8 < \sigma < 20 \text{ (中區)}$$

$$\mu > 250, \sigma < 4 \text{ (左區)}$$

$$\mu > 190, 10 < \sigma < 25 \text{ (右區)}$$

本計畫也將觀霧地區 2008 年 7 月~2010 年 6 月期間霧的發生頻率和一天中的四時段加以逐月定量表示，白晝期間這四時段的定義如下：

- 清晨 06:00-09:00am
- 上午 09:00-12:00am
- 下午 12:00~3:00pm
- 黃昏 3:00~6:00pm

運用這一項影像分析流程，本計畫完成了二年期間的雲霧發生之調查，並根據 1-3 節所提及航空氣象對於霧影響能見度的等級定義(fog、thick fog、dense fog)，經由 Tamaya 經緯儀三角測量以及雷射測距望遠鏡數據的配合，得知影像分析區塊與數位相機的直線距離，來對霧事件進行「輕霧」、「大霧」兩種等級分類(50m 為分界)。比如圖 2-4(觀

霧管理站東方山谷)和圖 2-5(巨木林道 2.5K 西方山谷)，圖中分別標示 DIA 分析位置和其與 TLI 相機的相對距離。

2-2-2 NRFD 雲霧偵測器

本計畫參考美國航空太空總署(NASA) AERONET (Aerosol robotic network, Holben et al.1998) Project 中用來偵測下雨事件的 wet sensor(圖 2-6)之設計，自行設計與製造雲霧發生偵測器(FD)；FD 儀器係以兩份對稱的刷型電路迴路對臥而製成，利用霧滴附著在電路上後會改變電阻進而影響輸出電壓來偵測霧事件的發生，因此我們以 NTU Resistance Fog Detector (NRFD)稱呼之。在本計畫中，我們製作了兩種不同電路間距的 RFD (NRFDS 電刷間距 0.4mm，NRFDD 電刷間距 0.1mm；圖 2-7)分別來測試其對霧滴附著通電的敏感性。透過自製的外接分壓電路和克希荷夫分壓定律(Kirchhoff voltage law) 計算出 NRFD 之輸出電壓(單位為 mV、輸出範圍為 0~3300mV)，然後以 Microchip 公司所生產之 PIC 單晶片接收其訊號後，再以 10 bit 之資料解析度(將 3300mv 區分為 210 間距)儲存，因此 NRFD 之輸出解析度為 3.2mV。為了免除雨滴對 NRFD 的影響而誤判為霧事件，NRFD 將以向下開口的遮罩保護之(圖 2-8)，當 NRFD 之輸出越大表示越潮濕的情況，反之則為越乾燥的狀態。

2-2-3 NSFC 與 NCFC 雲霧攔截器

本計劃設計兩款雲霧攔截器，一為 NSFC(NTU standard Fog Collector)如，支架高度為 3 公尺、在 2 公尺與 3 公尺間架設一長寬皆為 1 公尺之正方形人造纖維網，使用此網以替代表面法收集霧水。人

造纖維網以寬 0.5 釐米(mm)之聚丙烯(polypropylene)纖維以拉舍爾(Raschel)編織法(纖維角度約 170°)製成，網目形狀類似梯形以利霧水滑落，網目大小約 1.5 釐米(mm)，遮蔽率(shade coefficient)為 50%。網目下方約 5 公分處設置一傾角約 5°至 6°，寬、深皆為 6 公分之集水槽，用以將所收集之霧水導入雨量筒內。另一款為 NCFC (Cylinder fog collector)，支架高度為 3 公尺、在 2 公尺與 3 公尺間架設一直徑 32 公分、長 1 公尺之圓柱形人造纖維網，與 NSFC 所使用之網目相同，柱型網目下方設置一直徑 35 公分之圓錐型集水漏斗用以將所收集之霧水導入雨量筒內。NSFC 和 NCFC 攔截的雲霧水都將直接導入加蓋的 0.5mm 容積傾斗式 (tipping bucket) 雨量筒，並由 PIC 單晶片記錄器記錄傾斗動作發生的時間，最後整理成每小時或每日累積的次數(水量)；圖 2-9 是以上說明的示意圖和現場實品。實測結果發現，NSFC 效率優於 NCFC，至於 1.5mm 網目的人造纖維網的霧水蒐集效應，本計畫也以風洞實驗加以定量驗證完成(賴，2009)。

2-2-4 HOB0 氣象系統

本計畫建置的 HOB0(<http://www.onsetcomp.com/>)氣象系統(見圖 2-2 與圖 2-3)與雪霸國家公園「雪山地區高山生態系整合調查」哭坡頂、黑森林等兩地樣區之氣象觀測系統相同，唯觀測項目僅有風向、風速、溫度、相對濕度和葉片濕潤度等。其中，葉片濕潤度感測器(S-LWA-M003，圖 2-10(上))原理和外觀與本計畫 NRFD(2-2-2 節)雷同，量測原理是利用綠色聚氯乙烯(PVC)材質電路板模擬葉子，並在 PVC 上附有電刷結構之電路，一旦空氣中的液態水附著其上，便會影響印刷電路之電阻。儀器所量測到的潮濕度定義為綠色 PVC 其上之電刷

電路面積上，液態水覆蓋範圍之百分比，數值為 0 至 100，當數值為 0 時，表示在儀器的電路上完全乾燥；當數值為 100 時表示儀器上被覆蓋了一層液態水，可更進一步偵測霧事件是否發生；因此我們將該感測器朝下，並用開口式塑膠盒遮蔽感測器(圖 2-10(下))以免受到雨水的影響。整套設備以 6 顆 2 號強力乾電池提供整個月份每一分鐘平均的氣象觀測資料與記錄。它和 2-2-2 節的 NRFD 所量測的參數，我們稱之為 Downward Leaf Wetness (以下 DLW 簡稱之)。

2-2-5 中央氣象局雪霸站

中央氣象局觀霧遙地自動氣象站(海拔高度 2087m，東經 121° 06' 22"、北緯 24° 30' 32"，圖 1-2)位於觀霧管理站西南方約 500 m 距離的樂山林道路旁，並自 1987 年 6 月 1 日起運作記錄，由於土石自然災害經常造成通往觀霧管理站之道路封閉，因此該局於 2007 年 6 月 22 日正式廢除該遙地氣象站，遷移到觀霧管理站下方 10 公里路程的民營雪霸農場場內(海拔高度 1956m，東經 121° 06' 58"、北緯 24° 31' 37"，圖 2-11)，並改稱為雪霸站。中央氣象局於全臺灣所建置的遙地自動測站區分為「雨量站」與「氣象站」，前者(約有 260 站)僅有傾斗式雨量筒和無線電傳輸設備(邱等，2005)，後者(約有 100 站)則再增加風向、風速、溫度、相對濕度和日照時數，統一由委為外廠商進行定期保養檢修，氣象資料均即時回傳到中央氣象局進行偵錯、應用與儲存。

2-2-6 中央氣象局天氣圖與衛星雲圖

中央氣象局預報中心每日上午預報討論會結束後，都公開提供當日天氣概述文字地面天氣圖與衛星雲圖(樣本如圖 2-12)。這一資源方便我們回顧觀霧地區霧事件發生的綜觀天氣背景與影響臺灣天氣的主要天氣系統特徵。此外，根據大氣科學學門慣例，我們定義春季為 3 月(March)、4 月(April)、5 月(May)，簡寫成 MAM。夏季為 6 月(June)、7 月(July)、8 月(Augst)，簡寫成 JJA。秋季為 9 月(September)、10 月(October)、11 月(November)，簡寫成 SON。冬季為 12 月(December)、1 月(January)、2 月(February)，簡寫成 DJF。根據 FDID 與 TLI 所記錄到的霧事件發生日期，我們將影響觀霧地區霧事件發生天氣系統類型分類如表 2：

中央氣象局衛星中心也嘗試應用氣象衛星影像進一步擴大雲霧發生的監測範圍，以下我們簡述這一衛星增值產品的內容。日本 MTSAT(Multi-functional Transport Satellite)地球同步衛星位於東經 140 度上空 36000 公里高空，觀測地球的頻道能量落在可見光頻道(0.4~1.1 μm)到長波紅外線頻道(10~12 μm)的電磁波譜範圍。可見光頻道波段接收太陽輻射(solar radiation)的反射能量；長波紅外線頻道則接收地球所放射的長波輻射；短波紅外線頻道(3.78~4.03

μm)則介於上述兩頻道的波段之間,因此林與汪(2008)參考 Lee et al. (1997)方法,以 MTSAT IR4 頻道 ($3.7\ \mu\text{m}$),與 IR1 頻道 ($10.7\ \mu\text{m}$) 的亮度溫度值,進行相減運算後產生的產品,用以即時追蹤移動中或是發展中的低層雲與霧現象。

由於霧常常與低雲(層雲)伴隨發生,例如有些層雲是由霧緩慢上升而形成;而且海面上的霧被風吹到陸地上,亦可能因地形因素形成層雲。利用同步氣象衛星所接收的資料,雖然在時間解析上有較佳的表現,但是受限於衛星掃描與接收電磁波的方式,使其低雲與霧區不容易在雲圖上分辨出來,因此需要一些門檻判斷標準來進行確認。研究發現當以下二條件同時滿足時,便可將該影像視點視為「霧」:

- IR4 減 IR1 的差異值在 $0^{\circ}\text{C}\sim-2^{\circ}\text{C}$ 之間,含 -2°C 不含 0°C 。
- IR1 的溫度值須大於攝氏 7°C , 不含 7°C 。
- 當以下二條件其中一項滿足時時,便可將該影像視點視為「低雲」:
 - IR4 減 IR1 的差異值須小於 -2°C , 不含 -2°C ; 且 IR1 的溫度值須符合大於攝氏 7°C , 不含 7°C 為。
 - IR1 的溫度值須在 $0^{\circ}\text{C}\sim16^{\circ}\text{C}$ 之間, 含 0°C 與 16°C 。

這一衛星加值產品提供每日 4:00pm 到隔日 6:00am, 間距 30 分鐘的加值影像分析圖, 透過中央氣象局 WINS (Weather Integration and

Nowcasting System)系統做為觀測與預報人員參考使用。

本計畫與中央氣象局衛星中心合作，自 2009 年 8 月 31 日起定期拷貝低雲/霧的衍生產品圖檔(圖 2-13)，再利用 MATLAB 軟體撰寫程式來統計這些衛星影像之中的觀霧地區網格(5 km^2)的夜間成霧的頻率和濃度等級，進行觀霧地區的地面驗證。我們交叉比對 TLI 方法(日間)和夜間 MTSAT 雙頻道檢視法(夜間)兩者在 4:00~6:00pm 期間的霧事件發生個案，得出該加值影像圖檔在觀霧地區的 RGB 平均值與霧發生的對應門檻是 75~175。

第三章 資料分析與結果

第一節 觀霧地區雲霧發生時間與水量之特徵

本節綜合整理 2008 年 7 月至 2010 年 6 月期間觀霧管理站山椒魚試驗地旁，以及 2009 年 11 月至 2010 年 6 月期間巨木林道 2.5K 山椒魚棲息地，兩處地點 TLI 以及 FDID 所偵測的雲霧事件，隨著季節(月份)、白晝不同時段的輕霧、大霧、濃霧的變化特徵。

3-1-1 觀霧管理站

2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日白晝(6:00am 至 6:00pm 像機可見影像有效觀測時段)期間，TLI 有效記錄資料中，若不論那一種濃度，觀霧管理站霧事件「發生的天數」頻率是 86%；若以總記錄筆數(發生次數)來看，「輕霧」事件發生頻率為 79.3%，「大霧」事件發生頻率則是 78.3% (圖 3-1)；須說明的是，TLI 同一影像中可能同時判斷出「輕霧」與「大霧」。不同季節的霧事件發生次數的相對頻率則以春季(29.5%)最高，其次為夏季(21.7%)和冬季(12.9%)，最低是秋季(11.2%)。再以月份細分，霧事件發生的前三大(單月)相對頻率和月份分別是 2010 年 4 月的 49.2%、同年 6 月的 43.0%以及同年 5 月的 39.7%，最低發生頻率和月份則是 2009 年 5 月的 2.3%(圖 3-2)。

在這 24 個月之中，輕霧發生比例隨月份的變化較大，以 27%~76% 為變動範圍，標準差 11%；大霧發生比例的標準差略小(8%)。2008 年 7 月至 2009 年 1 月，每月輕霧比例在 6%~20% 之間變動；然而 2009 年 2 月至同年 12 月，輕霧比例幾乎每月皆在 5% 以下，僅 2009 年 4 月有逼近 30% 的高峰。2010 年 1 月起，輕霧比例從 2009 年 12 月的谷底 0.3% 躍升為 17%，之後每月都超過 10%。2010 年 4 月比例為 24 個月中的最大值(40%)。大霧比例在 2009 年 5 月之前皆略高於輕霧比例 1%~3%，兩者變動趨勢相同，大霧比例的最大值 30% 出現在 2009 年 4 月。但 2009 年 7 月至 12 月，幾乎每月大霧比例明顯高出許多，例如 7 月大霧比例 21%，輕霧只有 1.4%。2010 年 1 月至 5 月，呈現相反的現象，每月輕霧比例都比大霧比例多 1%~17%，最後在 6 月大霧才略微超過輕霧。(圖 3-3)。

若以一天白晝期間四個時段(2-2-1 節)而不論季節月份來看，霧事件發生頻率的相對百分比值從大至小依序是下午 27.3%、上午 25.3%、清晨 24.0%、黃昏 23.3% (圖 3-4)。以下以各霧種在各月份發生次數總和為分母，來說明不同霧濃度四個時段發生頻率的特徵。

首先，清晨發生輕霧的比例最高可達 81% (2008 年 12 月)，但是到了 2009 年 8~9 月下降為 0%，逐月變動幅度很明顯。最常發生上午輕霧的月份是 2009 年 3~4 月(比例分別為 36.1% 及 36.8%)，但是隔

年(2010年)3月，比例卻僅有1.2%。最常發生上午輕霧的月份是2009年3~4月，比例分別為36.1%及36.8%；最不常發生的月份則是2010年3月，比例僅1.2%。下午輕霧於7~10月較常發生(2009年8月的75%為最大值)，11月發生次數的比例開始減少，直到3~4月之後再上升。除去2009年六月無資料。黃昏輕霧發生次數比例最高及次高分別是2009年10月51.5%及2008年9月51%。2009年與2010年的3~5月皆呈現比例遞增的情形，但2008年的3~5月比例在15%與35%之間，2009年3~5月則在2%與21%之間。2008年及2009年的秋末冬初(11月至1月)都是黃昏輕霧發生比例較少的時節，最小值亦出現在2008年12月(1.8%)，直到2月才明顯回升到30%以上(圖3-5)。

2009年11月是清晨大霧最常發生的月份，比例為55%，次高者為2009年1月的48%，第三高的月份是2010年3月44%，其餘月份皆在40%以下。上午大霧發生次數較無明顯的逐月變化，惟2008年12月(64%)發生最大值，2009年8、10月比例為0%，此外沒有明顯的變化趨勢。下午大霧最大發生頻率(65%)出現在2008年8月，同年12月比例為0%。2008年及2009年的10月比例皆在50%以上，也是下午大霧較常發生的月份。黃昏大霧發生頻率最高(61%)的月份是2008年9月，次高者為2009年5月的60%。頻率最小值出現在

2008年12月，僅2.4%。整體而言，7月至9月或10月是比例較高的月份，11月至隔年4月則相對較低。(圖3-6)。

綜合言之，清晨輕霧在7月至9月較少發生，11月至隔年2月的發生比例都很高，但是清晨時段的比例比其他三個時段表現不穩定，比如2009年八月及九月的比例就降到0%。下午的輕霧比例也稍高，上午及黃昏時段的輕霧每個月份都會發生，只是上午的比例在大部分月份與其他時段比較皆偏低。不分時段來看，夏、秋兩季輕霧發生得較頻繁，冬季及春季發生次數較少。大霧在清晨時段有三個月的發生比例為0%，秋末、冬季清晨大霧較多，比例可達50~60%之間。

雲霧所帶來的水平降水量方面，透過觀霧管理站山椒魚試驗地的FDID中的NSFC與氣象站雨量筒水量挑出「無雨有霧」的個案，再以過去20年(1987~2007年)觀霧降水氣象資料在相同觀測日期的平均降雨量為分母，估算霧(水平降水)對於觀霧遊憩區的水文貢獻比例。結果發現，水平降水可提供~11%的額外降水，如果再將有雨有霧併入計算，水平降水量約是垂直降水量的~34%之多。此外，根據賴(2009)在臺灣大學大氣科學系霧風洞所進行的霧水濃度與平流風速實驗(圖3-7)，我們測試三種濃度(0~0.05、0.05~0.15及0.15~0.2 gm^{-3})並得到FDID攔截網所能攔截的液態水含量(LWC)平均值為0.12 gm^{-3} 。

3-1-2 山椒魚棲息地

2009年11月19日至2010年6月12日白晝(6:00am至6:00pm像機可見影像有效觀測時段)期間，TLI有效記錄日數共有157天，發生「輕霧」、「大霧」事件的比例分別是21%、26%(圖3-8)，若不論那一種濃度，巨木林道2.5K山椒魚棲息地的霧事件「發生天數」頻率高達96%，比上一小節的觀霧管理站高出10%。各月份霧事件發生次數頻率的相對百分比值前三高為11月的78.5%、6月的58.4%、4月的53.9%，最低發生頻率和月份則是2月的24.9%(圖3-9)。各月之不同霧濃度相對百分比值的變化特徵上，發現2009年11月、12月及2010年3月輕霧比例都超越大霧比例，但是2010年4月至6月則以大霧佔多數。

輕霧發生比例於2009年11月、12月最高，分別為79%及51%；然而2010年1月、2月劇降至12%及2%，3月上升至39%，但之後皆在15%以下。大霧發生的比例在八個月中有上升的趨勢，從2009年11月接近0%到2010年6月達最大值50%(圖3-10)。依不同時段來看，山椒魚棲息地的霧事件發生頻率以清晨最高(42%)，其次是下午的29%、上午的16%和黃昏的14%(圖3-11)，這一結果比樂山林道東側的觀霧管理站結果(圖3-4)的四時段分布更為不均勻。清晨的輕霧在2010年4月最常發生，比例為52%；2009年5月則是0%。冬

季 11 月至 2 月比例偏低，皆在 10% 以下，3 月清晨輕霧比例明顯增加至 33%。上午期間，發生輕霧的比例於 2 月出現最大值 97%，4 月則有最小值 22%，其餘月份都在 27%~67% 之間。下午期間發生輕霧的比例以 11 月最高，有 40%，2 月最低(0%)。黃昏期間，所有月份發生比例輕霧皆低於 10%(圖 3-12(上))。上午及下午為每個月較常發生大霧的兩個時段，其中下午大霧為五個月(11~2 月以及 6 月)發生比例之冠，最大值為 11 月的 71%，最小值為 5 月的 24%。上午大霧每個月發生比例變化相對穩定且無明顯隨月份變化的趨勢，範圍從 22% 至 41%。黃昏則是每個月發生大霧比例最少的時段，約 2% 至 12%。清晨大霧在 11 月至隔年 3 月發生次數之比例很少，最多約 9%，但 4 月躍升至 33%，遞增至 5 月的 36%，6 月降為 20% (圖 3-12(下))。

第二節 觀霧地區雲霧發生之氣象條件特徵

根據 2-2-4 節 HOBO 氣象資料和 TLI 霧事件發生日期資訊，我們檢示「有霧日」和「無霧日」的氣象條件差異，以了解本計畫新增的潮濕度指標 DLW(加上蓋的葉片濕潤度感測器以及 NRFD 電阻輸出值)是否有助於偵測霧事件的發生。以 2010 年 4 月 18 日(有雨，圖 3-13)

和 2010 年 4 月 1 日(無雨，圖 3-14)為例，顯示這兩天當日每分鐘的相對濕度(RH)和葉片濕潤度(DLW)演變和相對時間的散布圖(scatter diagram)。這兩圖所呈現的訊息是本計畫設計的 DLW 顯然不與 RH 呈現線性關係，DLW 對於降水和霧水的發生與結束的反應比 RH 更為劇烈，有助於雲霧的偵測。

我們進一步分析山椒魚試驗地和山椒魚棲息地兩處地點的微氣象異同之處，表 3 整理了兩處地點「有霧日」和「無霧日」的氣溫、相對濕度、葉片濕潤度以及風速等四項參數的逐月相關係數；表中顯示當環境有霧時，可能霧水蓄熱性造成兩處地點氣溫的相關性升高(12 月與 4 月除外)，但是相對濕度與葉片濕潤度的相關性反而在有霧情況下而相關性下降，可能是霧水飄移的空間不均勻造成這一結果。此外，由於兩地都被不同密度與高度的樹林所包圍，造成風速偏低以及平流擴散效應太小，因此兩地無論有無霧事件發生，風速參數都沒有顯著的相關性。

樂山林道東西不同坡向的微氣象條件的差異程度，是否能協助解釋的特有性，是本計畫雲霧觀測衍生的新議題。圖 3-15 和圖 3-16 分別整理了相對濕度與氣溫參數，在有霧日和無霧日的逐月逐時差異值(山椒魚棲息地減去觀霧管理站旁的試驗地)，圖中顯示西向坡的山椒魚棲息地較東向坡的試驗地來得為潮濕和低溫，特別是在中午之前直

射陽光尚未照射到西向坡的巨木林道，這一差值在有霧日之時更放大近 2 倍。

第三節 觀霧地區雲霧發生可能成因之探討

本節針對 2008 年 7 月 21 日至 2009 年 12 月 21 日期間 TLI 所記錄的「有霧日」，蒐集中央氣象局的每日天氣概述(2-2-6 節和表 2)，來診斷觀霧地區霧事件發生的綜觀天氣背景條件(詳列於附錄 1)。表 4 歸納出這一期間以季節劃分的有霧發生天氣類型；首先，春季期間觀霧地區出現霧事件的天氣型態主要為「鋒面」或是「華南雲雨帶」通過的影響，有時候在臺灣東北部所生成的「臺灣低壓」或是在臺灣上方形成「鋒面雲系」進而造成觀霧地區霧事件的發生，另外春季在臺灣附近的海面低雲也有可能因「高壓迴流」的影響而進入山區。在夏季方面主要是以「午後陣雨」在山區發展的影響，造成觀霧地區的霧事件的發生，另外「熱帶性低氣壓（包括颱風）」周圍雲系的移入，也有能會形成觀霧地區的霧事件。到了秋季，因臺灣地區主要颱風季節為八月、九月、十月，因此同樣也會受到「熱帶低壓」影響，「午後陣雨」的夏季天氣型態也會延續到秋天發生，同時在秋季也會開始受到「東北季風」和「鋒面系統」等冬季性質天氣型態的影響而出現霧事件。在冬季季節，主要是受到「東北季風」和「鋒面雲系」的影

響，而在冬末接近春季時令也會有「華南雲雨帶」的移入造成霧事件的發生。我們針對以上各季節的前兩種最有利（百分比率最大）天氣特徵再進一步說明：

3-3-1 春季

春季為冬季至夏季的轉變時期，霧事件的主要成因為境外移入天氣系統的雲系高度在移入至觀霧山區後形成當地的霧現象，在此以鋒面雲系、華南雲雨帶和臺灣低壓來探討，而高壓迴流造成的海上低雲移入的個案過少，因此不予討論。

▪ 鋒面雲系

在春季鋒面雲系分為兩種：冷鋒與滯留鋒，但霧形成原因皆為鋒面雲系的移入所造成，圖 3-17 為 2009 年 3 月 13 日冷鋒天氣圖與衛星雲圖，圖 3-18 為 2009 年 5 月 27 日滯留鋒天氣圖與衛星雲圖，這兩張圖都顯示鋒面雲系的天氣系統影響下，會有一帶狀雲系在臺灣附近或上空，其後方中國大陸位置則有一個高壓將鋒面雲系向南或向東推進，這條雲帶的高度若相當於觀霧地區海拔高度之時，將給觀霧地區帶來雲霧。

▪ 華南雲雨帶

主要為中國大陸華中華南地區低層大氣的濕區雲雨帶向東移動至臺灣地區，因此造成山區的雲霧現象，如 2009 年 3 月 23 日華南雲雨帶

的雲圖與衛星雲圖(圖 3-19)，可見到位於華中華南的大片雲雨區影響臺灣。

- 臺灣低壓

臺灣低壓為在臺灣附近生成的低壓與鋒面系統，在生成後其向西南延伸之鋒面雲系也會對臺灣山區造成影響，造成山區的雲霧，如 2009 年 4 月 16 日臺灣低壓的天氣圖與衛星雲圖(圖 3-20)，可見到臺灣東北外海有一低壓，其後向西南延伸的鋒面雲系籠罩臺灣上空。

3-3-2 夏季

夏季霧事件發生的天氣型態主要有兩類：一者為臺灣附近熱帶性低氣壓雲系的移入，另外一種為山區熱對流所造成的影響。

- 午後多雲或陣雨

午後多雲或陣雨的天氣型態主要發生在夏季臺灣地區沒有受到太平洋高壓影響的情況下，因缺乏下沉氣流維持天氣的穩定，所發展出的天氣型態，由於在山區白天為由山谷吹向山坡的谷風，這樣的上升氣流有可能在沿著山坡上升時達到成雲高度而形成雲霧區(圖 3-21)，或是在山頂或陵線的位置，因兩旁的山坡皆有谷風往山頂或陵線的位置集中造成輻合作用而形成向上發展的直展雲系，這類直展雲系如果雲底高度低於山頂稜線(圖 3-22)，也會在山區形成雲霧區。這類雲系因

白天的加熱作用繼續發展後經常會造成午後陣雨現象，或是造成午後多雲的情況；此外，這一天氣型態必須當臺灣不在太平洋高壓籠罩的情況下才容易發生（如 2009 年 8 月 28 日天氣圖所示，圖 3-23）。

- 熱帶低壓

當夏季的颱風、熱帶氣旋或熱帶低壓接近臺灣時，其周圍的雲系有可能會移入臺灣山區，如果雲層存在高度為觀霧山區高度，則會造成霧事件的發生，圖 3-24 為 2009 年 7 月 13 日天氣圖與衛星雲圖，是臺灣地區受到熱帶低壓影響的情況。

3-3-3 秋季

秋季為夏季轉變成冬季的過渡時期，因此夏季的天氣型態如熱帶低壓的影響、午後熱對流的天氣型態會存在，而冬天的東北季風與鋒面系統的天氣型態也會在秋天出現，這類天氣型態的相關個案會在其他季節討論，因此我們在此僅針對鋒前次環流和海上低雲的天氣型態討論。

- 鋒前次環流

由於秋季的鋒面與冬季的鋒面不同，在秋天鋒面前緣(南方)也會有雲系的出現，因此即使鋒面上未到達至臺灣上空，在鋒面前方雲系同樣也會移入至臺灣上空，形成臺灣山區雲霧現象，如圖 3-25 為 2009 年

11月9日的衛星雲圖與天氣圖所示。

- 海上低雲

秋天有時臺灣地區附近並無顯著系統，此時海上若有些零星雲系移入至臺灣山區，同樣也會造成雲霧的產生，如圖 3-26 為 2009 年 11 月 7 日的衛星雲圖與天氣圖所示。

3-3-4 冬季

- 東北季風

冬季大陸冷高壓南下時，會將乾冷的空氣帶至太平洋西岸的暖洋流黑潮之上，此時在海面上形成低雲；當強烈東北季風將這些低雲帶至臺灣陸地，迎風面的東北部和北部山區則容易出現雲霧的現象。除此之外，潮濕的東北季風受到北部山區地形舉升的影響，也容易在山區形成雲霧(圖 3-27)。圖 3-28 為 2009 年 2 月 13 日天氣圖與衛星雲圖，特徵是中國大陸強烈冷高壓出海，臺灣北方等壓線為東北-西南走向的東北季風特徵，因此東海地區的海上低雲會被東北季風帶往迎風面的北部山區，進而形成北部山區的雲霧現象。

- 鋒面雲系

在冬季鋒面雲系主要為冷鋒型態，霧形成原因為鋒面雲系移入所造成，圖 3-29 為 2010 年 1 月 11 日冷鋒天氣圖與衛星雲圖，帶狀鋒面雲系

在臺灣附近，其後方中國大陸位置則有一個冷高壓將鋒面雲系向南或向東推進，這條雲帶的高度若接近觀霧地區海拔高度之際，將給觀霧地區帶來雲霧現象。

- 華南雲雨帶

這是春季常見的天氣系統，但是當冬季即將結束接近春季時也會發生。主要為中國大陸華中華南陸地的低層大氣潮濕雲雨帶向東移動到臺灣地區，因此造成山區的雲霧現象。圖 3-30 為 2009 年 2 月 24 日的衛星雲圖與天氣圖，顯示華南雲雨帶移入臺灣上空的情況。

反觀觀霧地區各季節「無霧發生」的天氣條件，大都發生於臺灣附近無顯著綜觀天氣系統(如鋒面遠離、高壓微弱)，並且常是連續兩天以上無霧發生，顯然大氣環流條件是主導山地雲霧發生的重要因子。

第四節 觀霧地區雲霧發生預警之可行性探討

由於本計畫在觀霧管理站所臨時架設的 HOBO 氣象系統(2-2-4 節)和中央氣象局雪霸站(2-2-5 節)兩地的直線距離約 2.2km，高度差距約 130m，並且後者隸屬中央氣象局即時監測和常態性維護測站，因此我們嘗試分析探討 2009 年 11 月(2009 年 11 月之前，雪霸站無相對濕度)到 2010 年 4 月(5 月之後該站資料截至 6 月底尚未釋出)期間，兩處觀測站氣溫、相對溼度氣象參數的月平均逐時變化和相關性，再

評估利用雪霸氣象站做為觀霧地區雲霧發生預警的可行性。圖 3-31 和圖 3-32 顯示，觀霧氣溫平均比雪霸低 1.4°C (2 月份觀霧氣溫值異常，不列入計算)，相對濕度平均則高了 8.3%。依照大氣熱力學原理，溫度每升高 1.0°C ，大氣的飽和水蒸氣壓可多出 7%；此外，以 $-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 大氣濕絕熱降溫率來推算，觀霧應比雪霸低 0.85°C ，顯然觀霧比雪霸來得濕冷的原因，應是觀霧有更長時間被雲霧籠罩，陽光被雲霧水滴反射和散射，無法加熱當地地面所致。由於雪霸農場位於觀霧北方稜線下方，我們預期任何季節的天氣系統只要風勢較強之際，兩地雲霧發生的綜觀尺度(200~2000 km)和中尺度(20~200km)天氣系統條件都相同，因此用雪霸站氣象條件來推知觀霧地區是否發生雲霧的機率甚高，但是若能說服中央氣象局在雪霸農場增設能見度儀或是本計畫測試的 DLW sensor，更能準確地得知與監看觀霧是否也有雲霧發生。

最後，我們利用 2009 年 8 月 31 日至 2010 年 5 月 16 日 4:00pm 到隔日 6:00am 之 MTSAT IR1-IR4 影像圖檔(2-2-6 節)，分析衛星影像之中的觀霧地區網格(5 km^2)有霧發生(RGB 平均值介於 75~175)的當日，與山椒魚試驗地和山椒魚棲息地的 HOBO 氣象站夜間的 DLW 參數進行比對(圖 3-33)，結果顯示兩地的夜間 DLW 都和中央氣象局 MTSAT 低雲/霧區加值產品的線性相關性不佳。當一夜之間衛星加值

產品有連續 10 次(每次間距約 30 分鐘)以上都判定觀霧地區夜間應有低雲或是霧現象發生，但是當晚地面所量測到的 DLW 值卻不見得升高。相反地，DLW > 80% 以上時，MTSAT 判定觀霧低雲/霧發生一定會超過 10 次/夜；換言之，MTSAT 僅能做為觀霧低雲/霧發生的「必要條件」，而非「充份條件」。由於 Lee et al.(1997)所設計的 IR 水氣吸收差異法是針對平原或大洋等地區層狀雲辨識所設計，我們認為該加值產品或許適用於嘉南平原以及澎湖金門等海島大範圍平整的平流霧和輻射霧之判別，對於山區複雜起伏地形以及多重植被的水氣蒸發散效應，仍有探索與修正的必要。

第四章 總結與討論

本計畫「觀霧地區雲霧環境之監測與模式建立」第一章回顧了霧的三大種類與成因，霧的常態觀測與濃度定義。由於透過相對濕度推估能見度的函數逼近法有因地性和昂貴能見度儀的必要需求，再加上國外生態界已有霧水蒐集的物理與化學分法之建立，因此本計畫參考國外研究計畫的設施與內容，在雪霸國家公園觀霧管理站進行 18 個月的雲霧環境之監測活動。研究方法與材料計有：

- 數位相機定時自動拍攝的 TLI(Time Lapse Images) 配合 DIA(Delphi-based Image Analyzer)影像分析方法(2-2-1 節)
- NRFD 雲霧偵測器 (2-2-2 節)
- NSFC 和 NCFC 雲霧攔截器 (2-2-3 節)
- HOBO 氣象系統與 DLW 參數 (2-2-4 節)
- 中央氣象局雪霸遙地自動測站(2-2-5 節)
- 中央氣象局衛星中心製作的 MTSAT IR 頻道的低雲/霧加值產品 (2-2-6 節)

而其中的 2-2-2 節和 2-2-3 節三套設備又以「雲霧攔截整合裝置」(Fog Detection and Interception Device, FDID)統稱之。為完成本計畫七項工作目標(1-2 節)，第三章內容主要是透過上述 6 種材料或方法，加

以資料分析與討論，我們就此簡要陳列這四小節內容之概要：

1. 無雨有霧天氣類型下，雲霧所帶來的觀霧地區水平降水量約是垂直降水(雨量)的 11%。如果再將有雨有霧併入計算，水平降水量約是垂直降水量的~34%之多。
2. FDID 的攔截網能攔截液態水含量(LWC)平均值約為 0.12gm^{-3} 。
3. 觀霧管理站(山椒魚試驗地)霧事件發生頻率是 86%；不同濃度區分下，「輕霧」占有 79%，「大霧」占有 78.3%。不同季節的霧發生相對頻率依序是春季(29.5%)、夏季(21.7%)、冬季(12.9%)、秋季(11.2%)。再以月份細分，霧事件發生的前二大相對頻率和月份分別是 4 月(49.2%)、6 月(43.0%)，最低發生相對頻率和月份則是 2009 年的 5 月(2.3%)。白晝四時段中的霧發生相對頻率則是下午 27.3%、上午 25.3%、清晨 24.0%、黃昏 23.3%。
4. 巨木林道 2.5K(山椒魚棲息地) 霧事件發生頻率是 96%；不同濃度區分下，「輕霧」、「大霧」事件的相對頻率分別是 51.6%與 87.9%。霧事件發生的前二大相對頻率和月份分別是 11 月(78.5%)、6 月(58.4%)，最低發生相對頻率和月份則是 2 月的 24.9%。白晝四時段中的霧發生相對頻率以清晨最高(42%)，其次是下午的 29%、上午的 16%和黃昏的 14%，這一結果比樂山林道東側的觀霧管理站結果的四時段分布更為不均勻。

5. 有上蓋的葉片濕潤度感測器以及 NRFD 電阻輸出值所得出的潮濕度指標 DLW(Downward Leaf Wetness) 以 80% 為臨界值，比傳統的相對濕度(RH)更能具體反應降水和霧水的發生與結束，能做為簡易又較精確的雲霧偵測判定設備。
6. 西向坡的山椒魚棲息地較東向坡的山椒魚試驗地來得為潮濕和低溫，特別是在中午之前直射陽光尚未照射到西向坡的巨木林道，這一差值在有霧日之時更放大近 2 倍，也間接突顯山椒魚生態環境的特徵。
7. 觀霧地區霧事件發生當時之綜觀天氣背景條件之診斷整理 (表 2 與表 4)。
8. 評估觀霧地區雲霧發生預警的可行性方面，經由逐月逐時的氣溫與相對濕度分析，顯示中央氣象局雪霸站氣象條件來推知觀霧地區是否發生雲霧的可行性甚高，唯若能在雪霸站增設 DLW 設備，更能明確界定有無雲霧發生。
9. 透過 DLW 驗證 MTSAT IR 頻道的低雲/霧加值產品，發現兩者沒有相關，但得出 $DLW > 80\%$ 以上時，MTSAT 判定觀霧低雲/霧發生一定會超過 10 次/夜；換言之，MTSAT 僅能做為觀霧地區低雲/霧發生的「必要條件」，而非「充份條件」。

綜合以上結果，我們完成了觀霧地區雲霧發生時間和(水平降水)

水量之定量觀測記錄，綜整觀霧地區雲霧發生之可能成因(有利天氣條件)，並比對分析觀霧地區鄰近之中央氣象局遙地自動氣象站之資料，建立一套物理性的雲霧監測模式(流程、工具與方法)。對於評估濃霧對觀霧地區交通安全預警之可行性方面，我們原定以中央氣象局 MTSAT 低雲/霧加值產品做為該地區常態性又免費的雲霧監測參考資料，才能做為交通安全預警使用。然而，我們資料分析後發現衛星遙測雲霧與地面實測結果仍有顯著落差，因此現階段無法套用這種 30 分鐘頻率地球同步衛星影像，做為雲霧生態與交通預警之使用。

參考書目

- 王寶貫，1996: 雲物理學，國立編譯館主編，渤海堂印行，pp382.
- 中央氣象局，1986： 地面氣象測報作業規範。 pp292
- 邱清安，林博雄，謝旻耕， 2005:由測站資料推估臺灣之氣溫與降水之空間分布。
大氣科學，**32**，329-350。
- 林允才，汪琮，2008: 利用同步衛星 3.9 μ m 頻道發展霧區衍生產品之研究。中
央氣象局 97 年度研究報告第 CWB97-1A-11 號。
- 曾以真，陳昭銘，2008: 利用倒傳遞類神經網路模式預測臺灣成霧現象之研究。
中央氣象局 97 年度研究報告第 CWB97-1A-16 號。
- 陳進成，2004：雲雨霧的形成。科學發展，**337**，26-3.
- 黃文樹、林登秋，2002：霧與環境生態研究之探討。台大實驗林研究報告，**16**，
165-177。
- 賴冠良，2009: 霧與水平降水之多重策略觀測。國立臺灣大學大氣科學研究所碩
士論文，pp 95。
- 簡慶芳，2007: 濃霧、中正國際機場與低能見度。飛航天氣，**3**，28-36.
- 蘇鴻傑，1984:臺灣天然林氣候與植群型之研究(II)—山地植群帶與溫度梯度之關
係。中華林學季刊，**17**，57-73。
- 魏聰輝，2007: 塔塔加地區雲霧帶推移之研究。臺大實驗林管理處九十七年度試
驗研究計畫。
- Benzing, David H. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the
significance of resident epiphytes. *Climatic Change*, **39**，519-540.
- Burkard, R. B., W. Eugster, F. Holwerda and S. Bruijnzeel,2002: Re-assessing the
measurement of fogwater inputs to a tropical ecosystem. *AGU 2002 Fall
meeting*.
- Chang, S.C., Lai, I.L. and Wu, J.T., **2002**: Estimation of fog deposition on epiphytic
bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan.

- Atmospheric Research*, **64**,159-167.
- Collett, Jr., J. L., Daube, Jr., B. C. and Hoffmann, M. R. 1991 : Spatial and temporal variations in precipitation and cloud interception in the Sierra Nevada of central California. *Tellus*, **43B**, 390-400.
- Demoz, B., Collett, Jr., J. L. and Daube, Jr., B. C.,1996 : On the Caltech Active Strand Cloudwater Collectors. *Atmos. Res.*, **41**, 47-62.
- Gultepe, I., G. Pearson, J. A. Mi lbrandt, B. Hansen,S. Platni ck, P. Taylor, M. Gordon, J. P. Oakley, and S. G. Cober, 2009: The Fog Remote Sensing and Modeling Field Project. *Bull. Amer. Metro. Soc.*, **90**, 341-359.
- Lee T. F., F. J. Turk and K. Richardson, 1997: Satratus and fog products using GOES-8-9 3.9 μ m data. *Wea. Forecasting*,**12**,664-677.
- Merlin, M. D., and J. O. Juvik,, 1995 : Montane cloud forests in the Tropical Pacific: some aspects of their floristics, biogeography, ecology and conservation. In L. S. Hamilton, J. O. Juvik and F. N. Scatena [eds.], Tropical Montane Cloud Forest, 234-253. Springer-Verlag, New York.
- Richardson, D. M., P. Pyšek, M. Rejmánek, M. G. Barbour, F. D. Panetta and C. J. West, 2000 : Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, **6**,93-107.
- Scholl, M.A., Gingerich, S.B., and Tribble, G.W., 2002 : The influence of microclimates and fog on stable isotope signatures used in interpretation of regional hydrology: East Maui, Hawaii, *J. Hydrology*, **264**, 170-184.
- Stadtmuller, T. 1987. Cloud forests in the humid tropics. A bibliographic review. The United Nations University, Tokyo, Japan.
- WMO, 1996: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization. WMO-N0.8.

表 1 本計畫工作項目與對應的材料、方法和結果

工作項目	研究材料或方法	結果 (章節)
定期觀測記錄觀霧地區雲霧發生時間	TLI, NRFD 雲霧偵測器	3-1 節
定期觀測記錄觀霧地區雲霧發生之水量	NSFC、NCFC 雲霧攔截器	3-1 節
完成觀霧地區雲霧氣象資料收集並加以分析	HOBO 氣象系統	3-2 節
分析觀霧地區雲霧發生之可能成因	中央氣象局天氣圖 中央氣象局衛星雲圖	3-3 節
簡要評估濃霧對觀霧地區交通安全預警之可行性	中央氣象局雪霸站 中央氣象局衛星雲圖 FDID	3-4 節
建立完整的雲霧監測模式	FDID, TLI 中央氣象局衛星雲圖	第 4 章
與觀霧地區鄰近之中央氣象局遙地自動氣象站之資料進行分析比對	HOBO 氣象系統 中央氣象局雪霸站	3-4 節

表 2 觀霧地區霧事件發生季節與天氣型態

季節	天氣型態
MAM(3~5 月)	鋒面雲系(滯留鋒) 臺灣低壓 高壓迴流(海面低雲) 華南雲雨帶 鋒面雲系(冷鋒)
JJA(6~8 月)	午後多雲或陣雨 滯留鋒 熱帶低壓
SON(9~11 月)	海面低雲 熱帶氣旋 鋒前次環流 鋒面雲系 午後多雲短暫陣雨 東北季風
DJF(12~2 月)	鋒面雲系 東北季風 華南雲雨帶 高壓迴流

表 3 2009 年 11 月~2010 年 5 月期間，山椒魚試驗地和山椒魚保育區兩處的四種氣象參數，在有霧日與無霧日的相關係數。*符號代表

總平均值計算時捨去該筆數據。

	氣溫		相對濕度		葉片溼潤度		風速	
	有霧	無霧	有霧	無霧	有霧	無霧	有霧	無霧
11 月	0.85	0.82	0.77	0.87	0.47*	0.75	0.2	0.17
12 月	0.73	0.76	0.42*	0.78	0.75	0.86	0.2	0.07
1 月	0.89	0.94	0.80	0.80	0.79	0.87	0.23	0.41
2 月	0.70	0.75	0.77	0.75	0.81	0.24*	0.07	0.14
3 月	0.95	0.91	0.78	0.81	0.56	0.73	0.01	0.08
4 月	0.91	0.84	0.75	0.89	0.75	0.90	0.13	0.40
5 月	0.89	0.72	0.76	0.75	0.70	0.78	0.03	0.07
平均	0.85	0.82	0.77	0.82	0.73	0.82	0.12	0.19

表 4 觀霧地區 TLI 記錄霧事件發生的天氣型態與季節（見表 2）

所占之比例				
季節	天氣型態	有效資料 霧事件 發生天數	同季節霧事件 在各天氣型態 所占比例(%)	不同季節 霧事件 總天數
MAM	鋒面雲系(冷鋒)	7	44	16
MAM	華南雲雨帶	4	25	
MAM	鋒面雲系(滯留鋒)	2	12.5	
MAM	台灣低壓	2	12.5	
MAM	高壓回流(海面低雲)	1	6	
JJA	午後多雲或陣雨	43	80	54
JJA	熱帶低壓	10	18	
JJA	滯留鋒	1	2	
SON	東北季風	46	58	79
SON	熱帶氣旋	11	14	
SON	鋒面雲系	9	11	
SON	午後多雲短暫陣雨	7	9	
SON	海面低雲	3	4	
SON	鋒面前次環流	3	4	
DJF	東北季風	30	68	44

DJF	鋒面雲系	11	25
DJF	華南雲雨帶	3	7

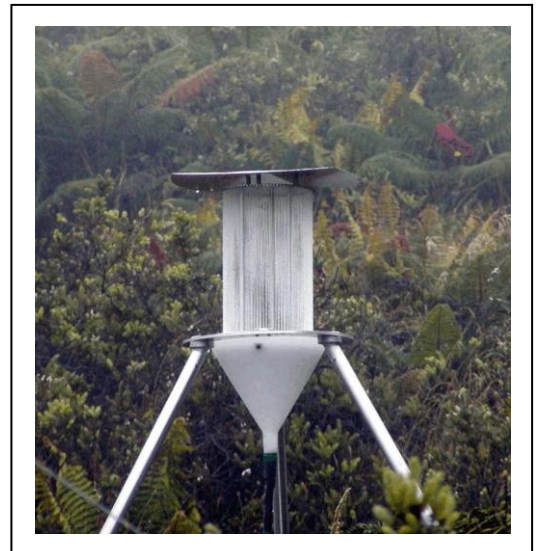
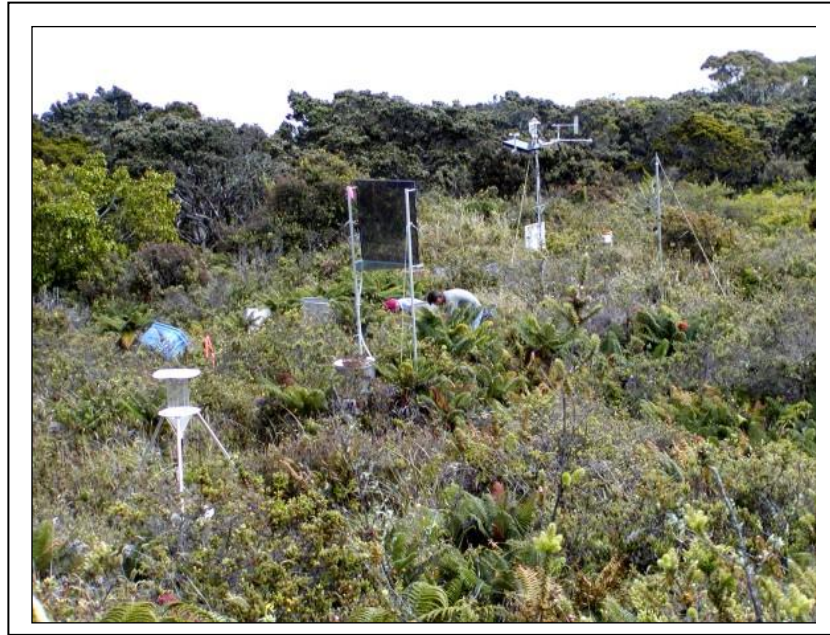


圖 1-1 安裝於 Hawaii Maui 島東向坡的平面式(左)與柱狀式(右)霧水

蒐集器引自 http://water.usgs.gov/nrp/proj.bib/hawaii/maui_fog.htm 。



圖 1-2 中央氣象局觀霧遙地氣象站(1987 年~2007 年設置於樂山林
道路旁)。

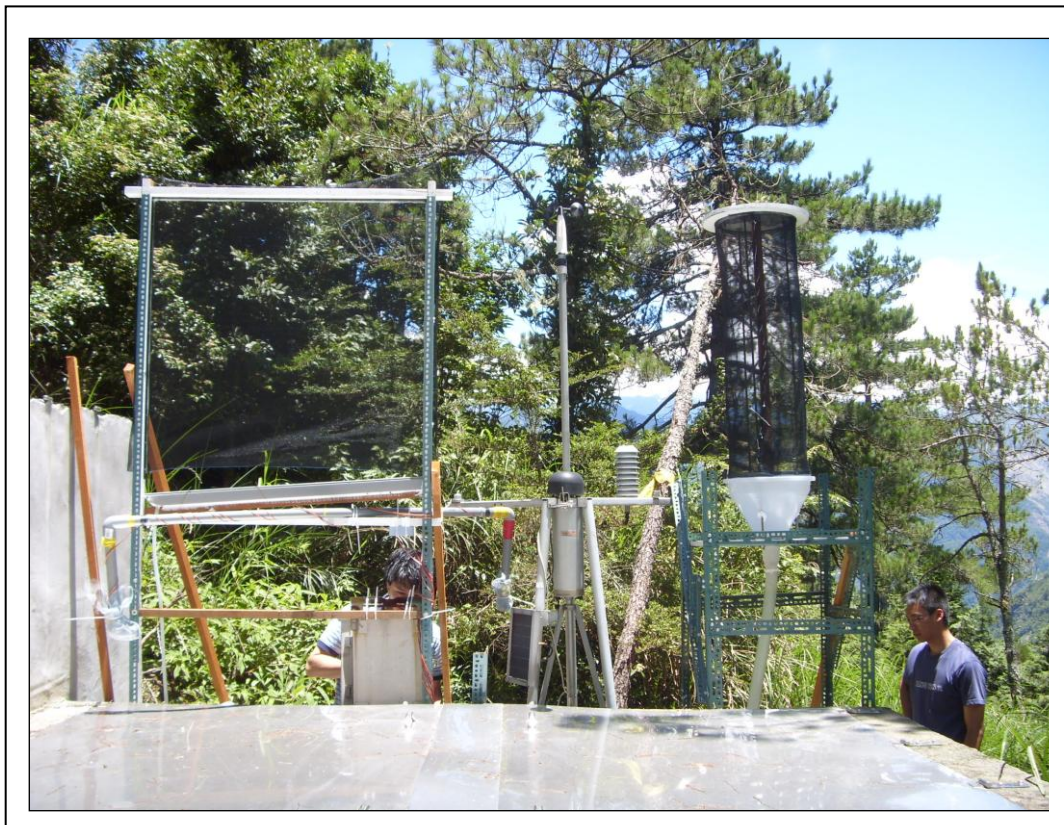


圖 1-3 觀霧管理站山椒魚試驗地 FDID(Fog Detection and Interception Device)現場。

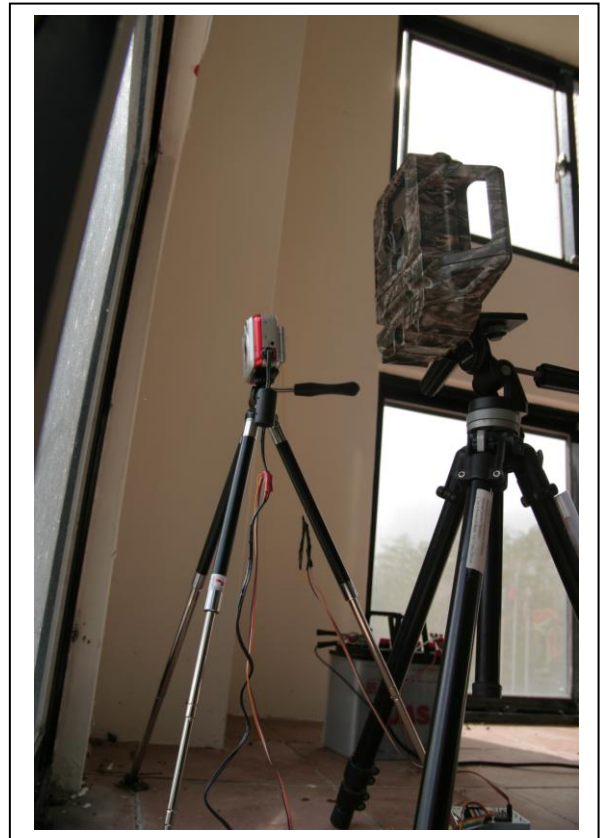


圖 1-4 觀霧管理站警察小隊通訊大樓 TLI 現場。

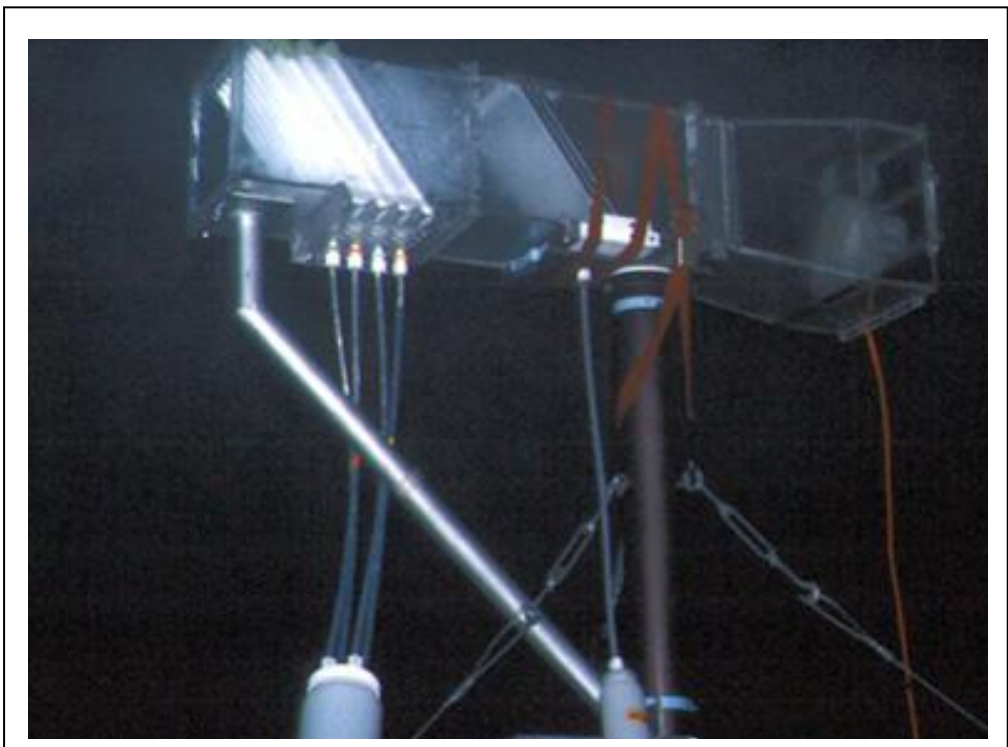


圖 1-5 Caltech Active Strand Cloud Collector (sf-CASCC) 引自

<http://lamar.colostate.edu/~collett/instrumentation.html> 。

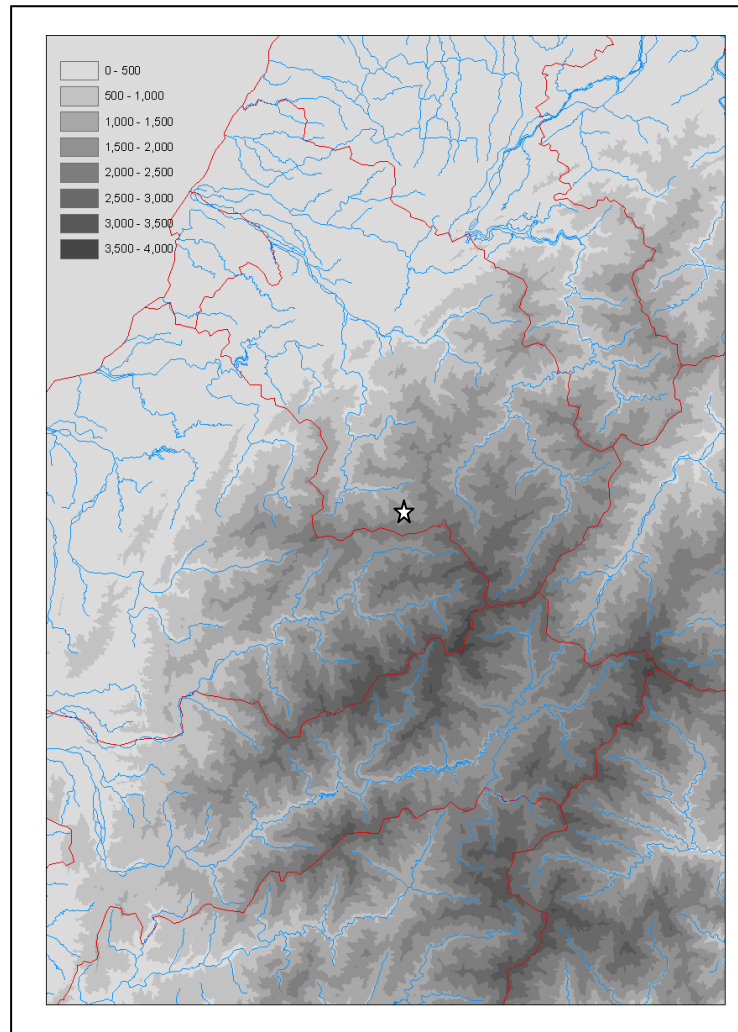


圖 2-1 (上)觀霧管理站(星點)周遭山脈與流域平面圖，(左下)Google Earth 由西向東俯瞰圖，以及從觀霧俯瞰樂山(右下)。



圖 2-2 觀霧管理站山椒魚試驗地 HOBO 氣象站。



圖 2-3 巨木林道 2.5K 山椒魚棲息地 HOBO 氣象站與 RECONYX 數位照相機。



圖 2-4 觀霧管理站東方山谷 DIA 分析位置和其與 TLI 相機的相對距離。左區 65 公尺(輕霧)，中區 23 公尺(大霧)，右區 27.5 公尺(大霧)。



圖 2-5 巨木林道 2.5K 西方山谷 DIA 分析位置和其與 TLI 相機的相對距離。左區 26 公尺(大霧)，中區 67 公尺(輕霧)，右區 24 公尺(大霧)。



圖 2-6 美國航空太空總署(NASA) AERONET (Aerosol robotic network) 用來偵測下雨事件的 wet sensor。

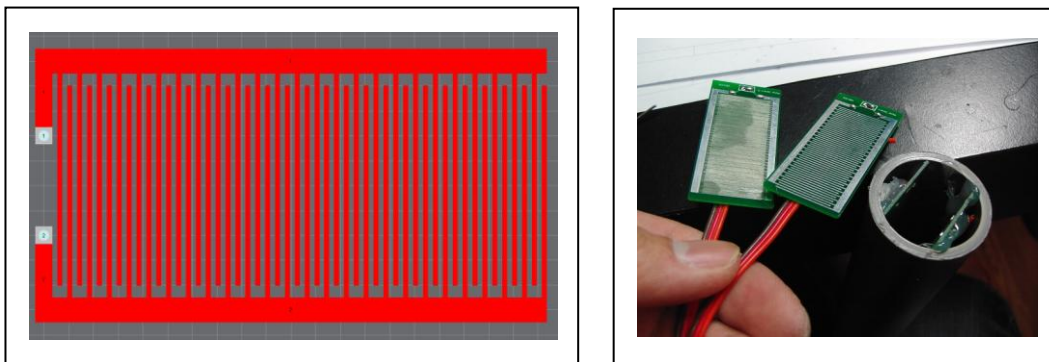


圖 2-7 本計畫設計的 NTU Resistance Fog Detector (NRFDD)感測電路板(右)及其實品，NRFDS 電刷間距 0.4mm，NRFDD 電刷間距 0.1mm。

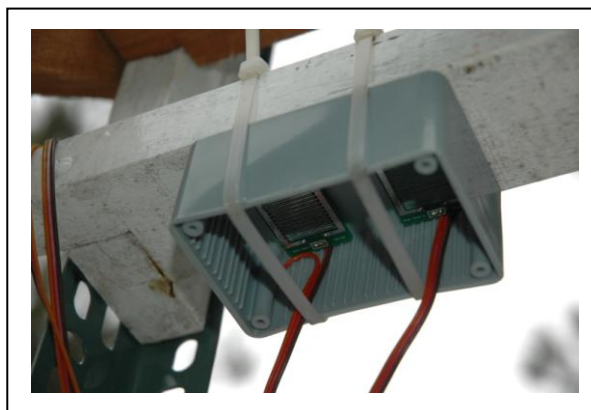


圖 2-8 NRFDS 與 NRFDD 實際安裝現場。

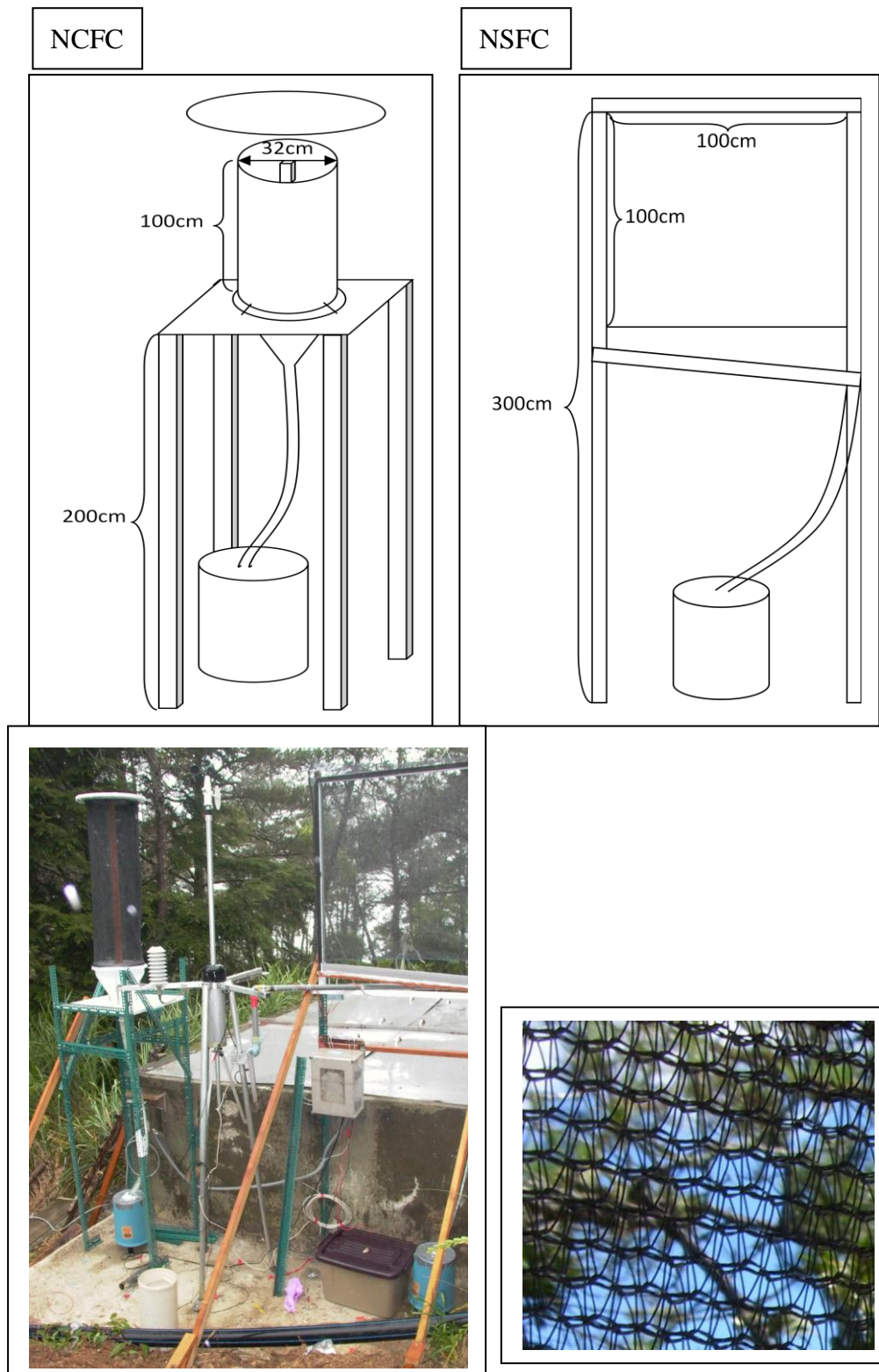


圖 2-9 (上)NCFC 與 NSFC 尺寸圖。(下)NCFC 和 NSFC 實品、傾斗式雨量筒、PIC 記錄器、電池箱以及氣象站，以及 1.5mm 網目、遮蔽率 50%的攔截網近照。

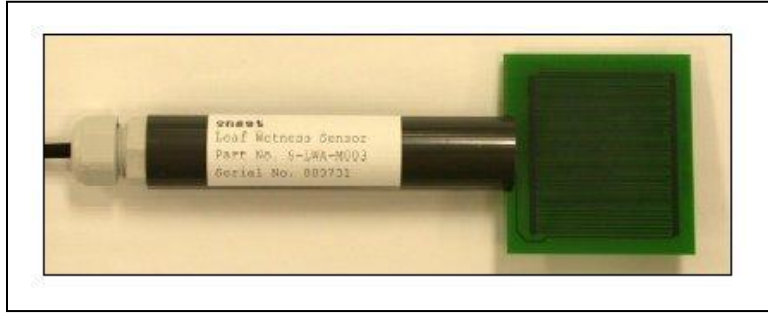


圖 2-10 (上)HOBO S-LWA-M003 葉片濕潤度感測器(下)增加遮罩與感測面朝下的葉片濕潤度感測器。



圖 2-11 中央氣象局雪霸遙地氣象站。

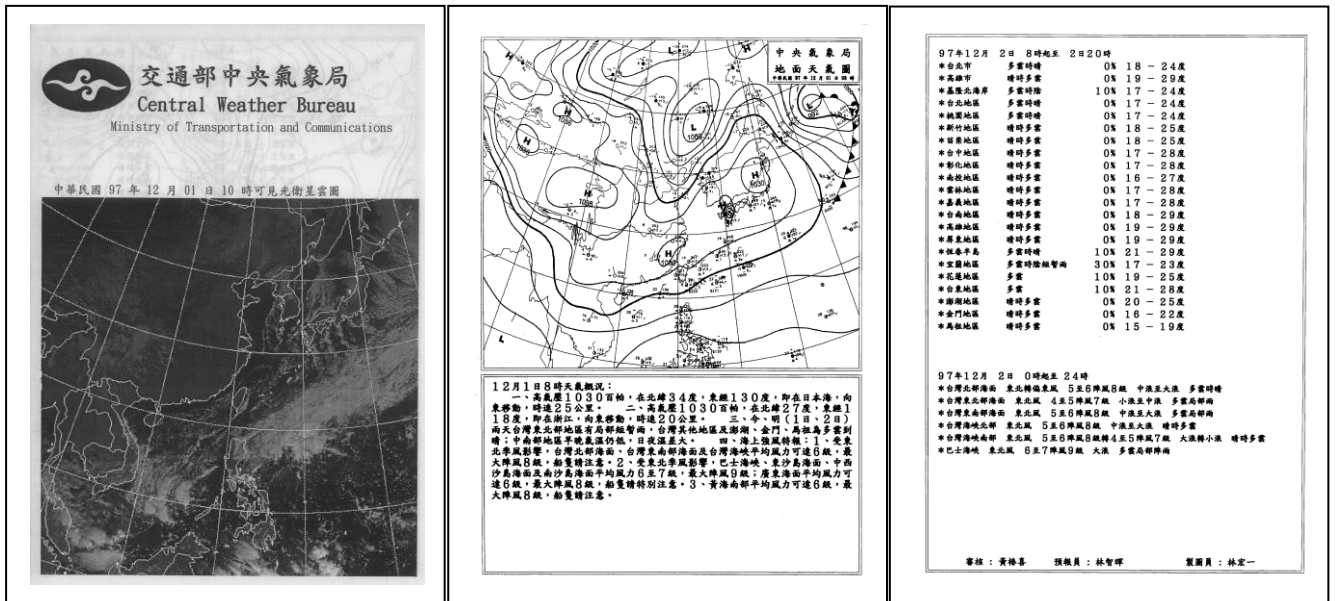


圖 2-12 中央氣象局每日天氣概述單樣本。

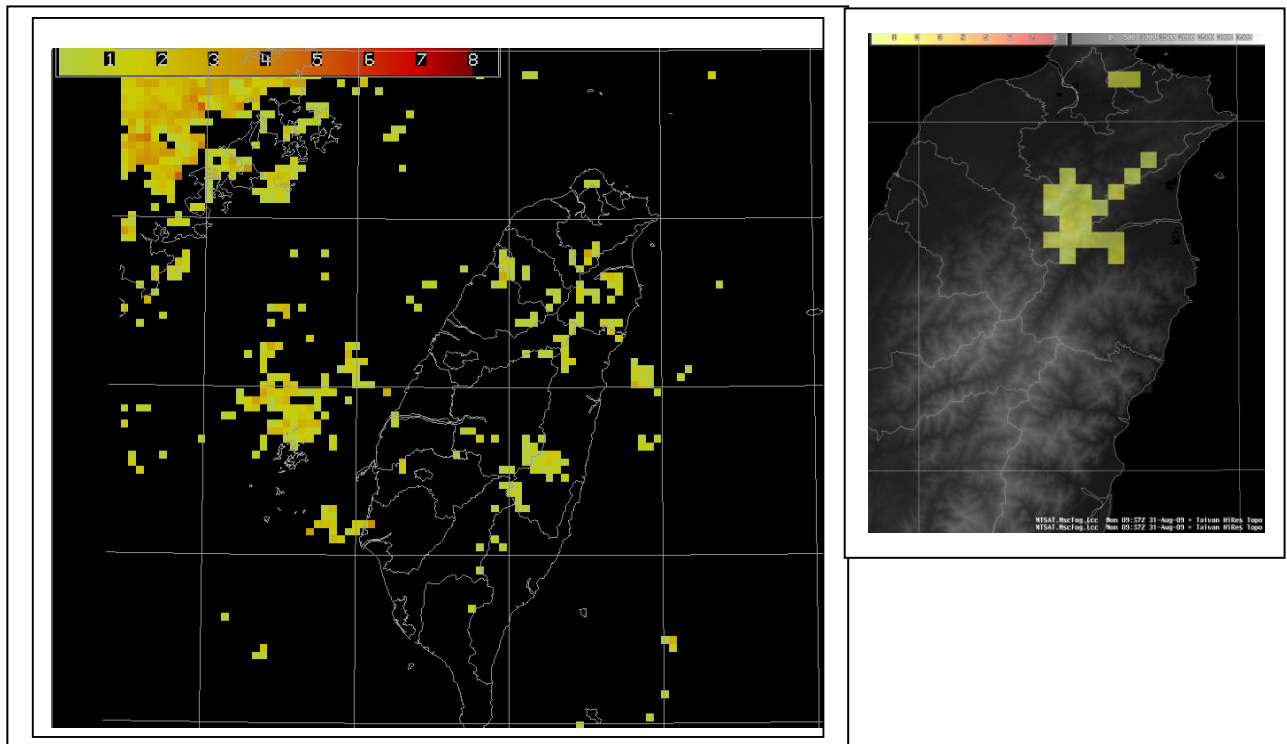


圖 2-13 中央氣象局 WINS 系統霧區加值產品圖樣本(2009 年 8 月 31 日 10:00UTC)。

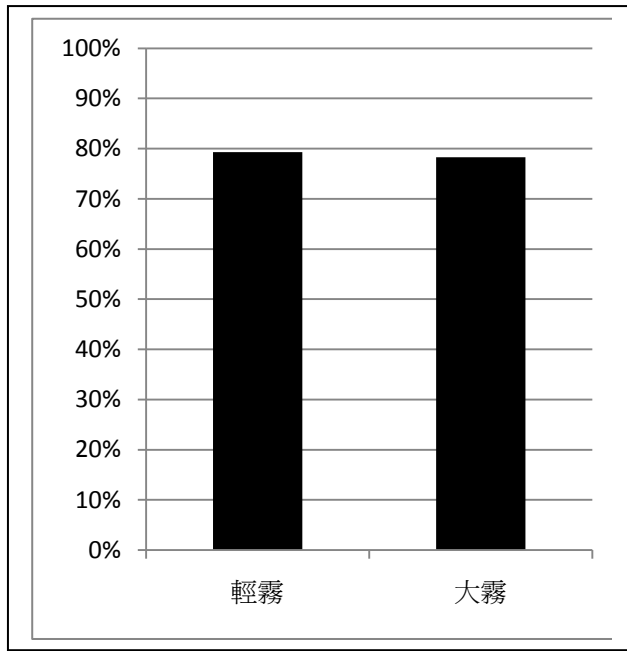


圖 3-1 2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日白晝(6:00am 至 6:00pm)

觀霧管理站之不同霧濃度發生的總百分比(分母為所有 TLI 有效記錄筆數)。

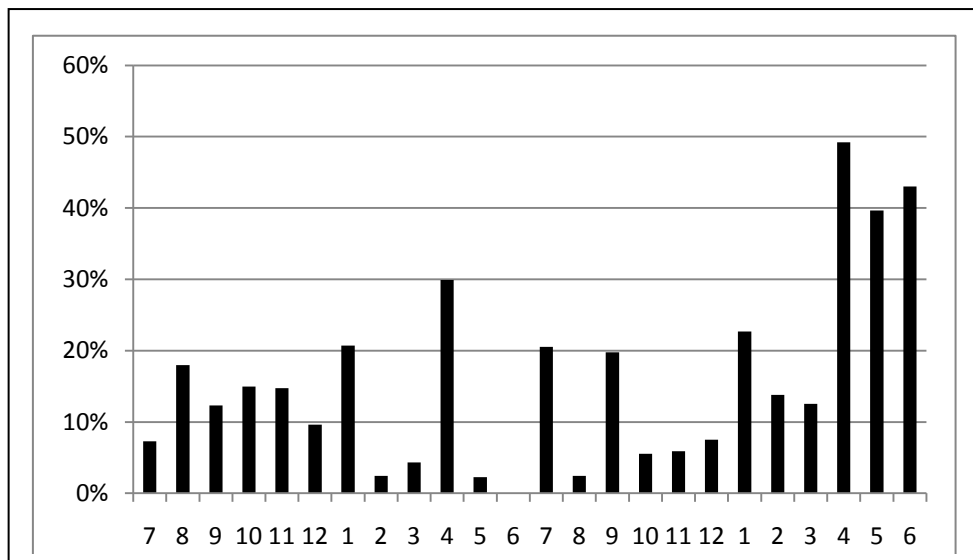


圖 3-2 2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日白晝期間，觀霧管理站各月份霧事件發生的百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數，但扣除輕霧大霧重覆發生的次數)。

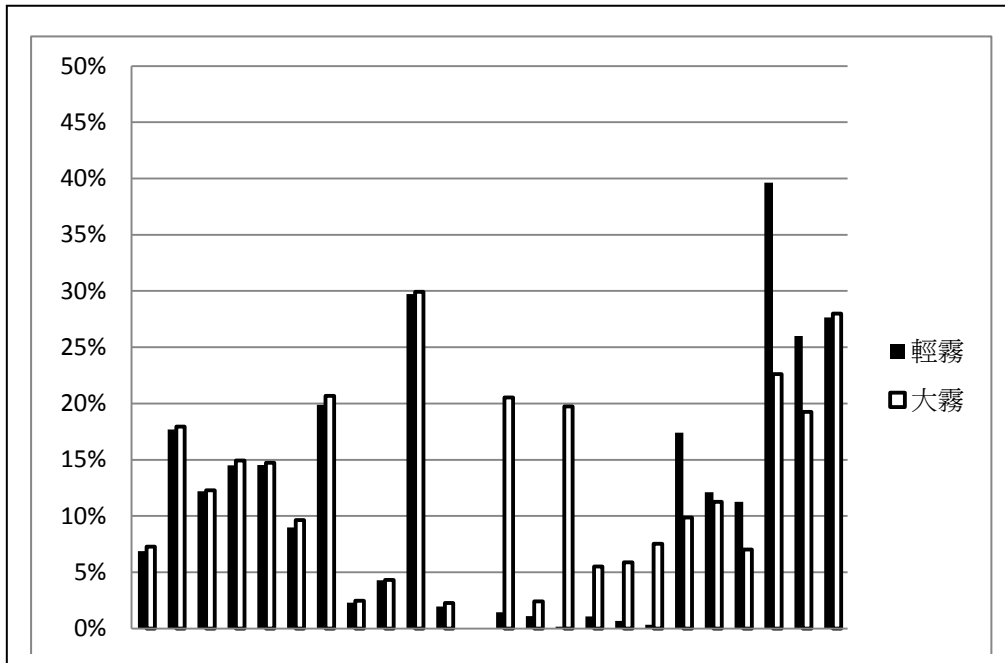


圖 3-3 2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日白晝期間，觀霧管理站不同霧濃度事件在各月份發生的相對百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數)。

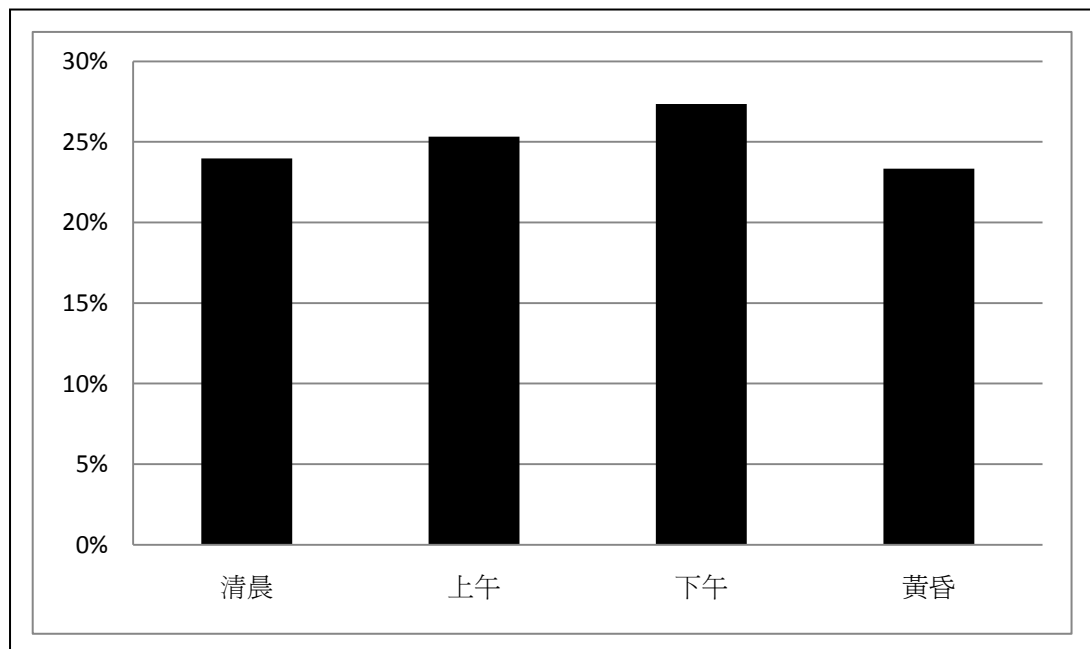


圖 3-4 2008 年 7 月 21 日至 2010 年 6 月 12 日觀霧管理站白晝不同時段霧濃度發生的百分比(分母為所有 TLI 有霧發生之筆數)。

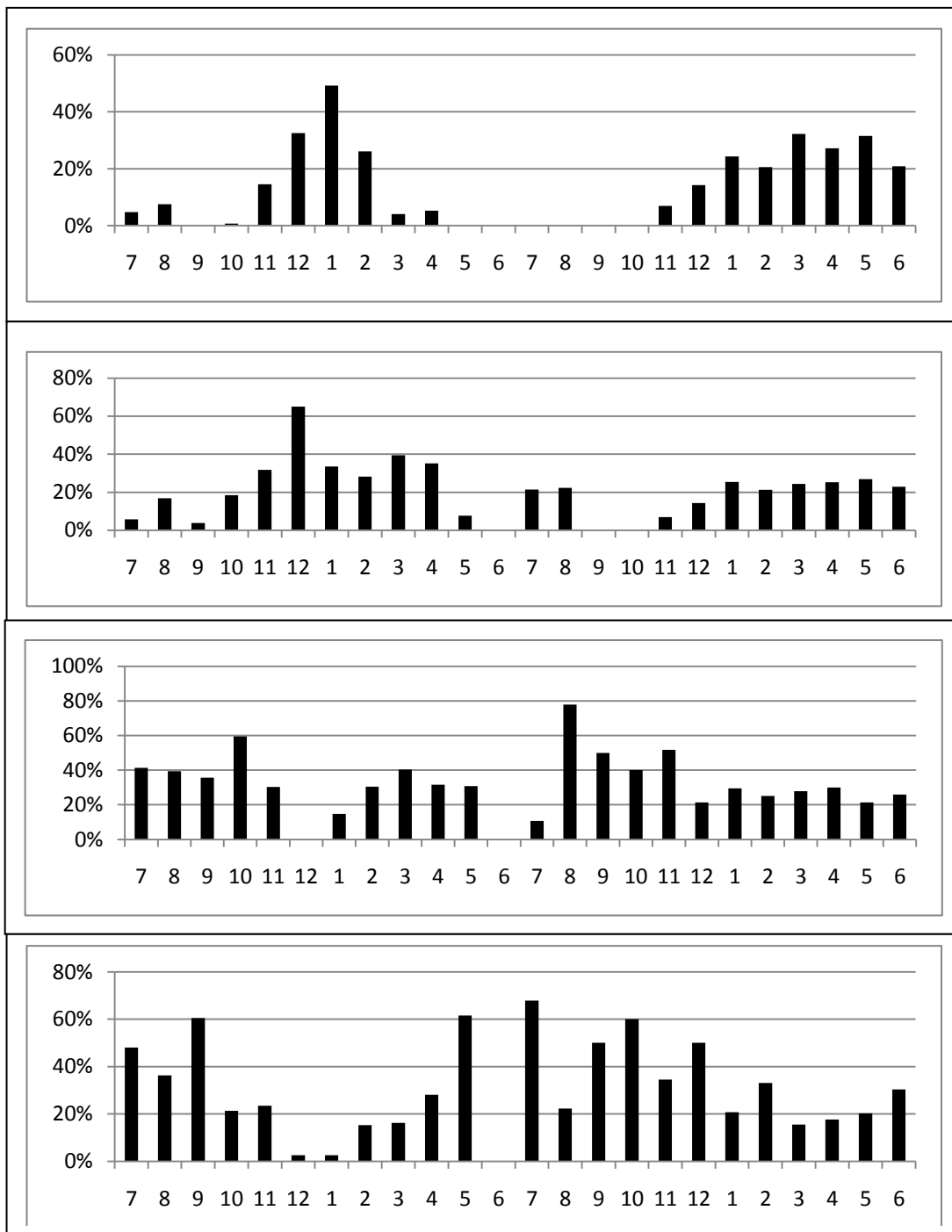


圖 3-5 觀霧管理站 2008 年 7 月至 2010 年 6 月輕霧發生相對百分比 (各月份輕霧總量為分母)之逐月變化，由上而下分別是清晨、上午、下午、黃昏時段。

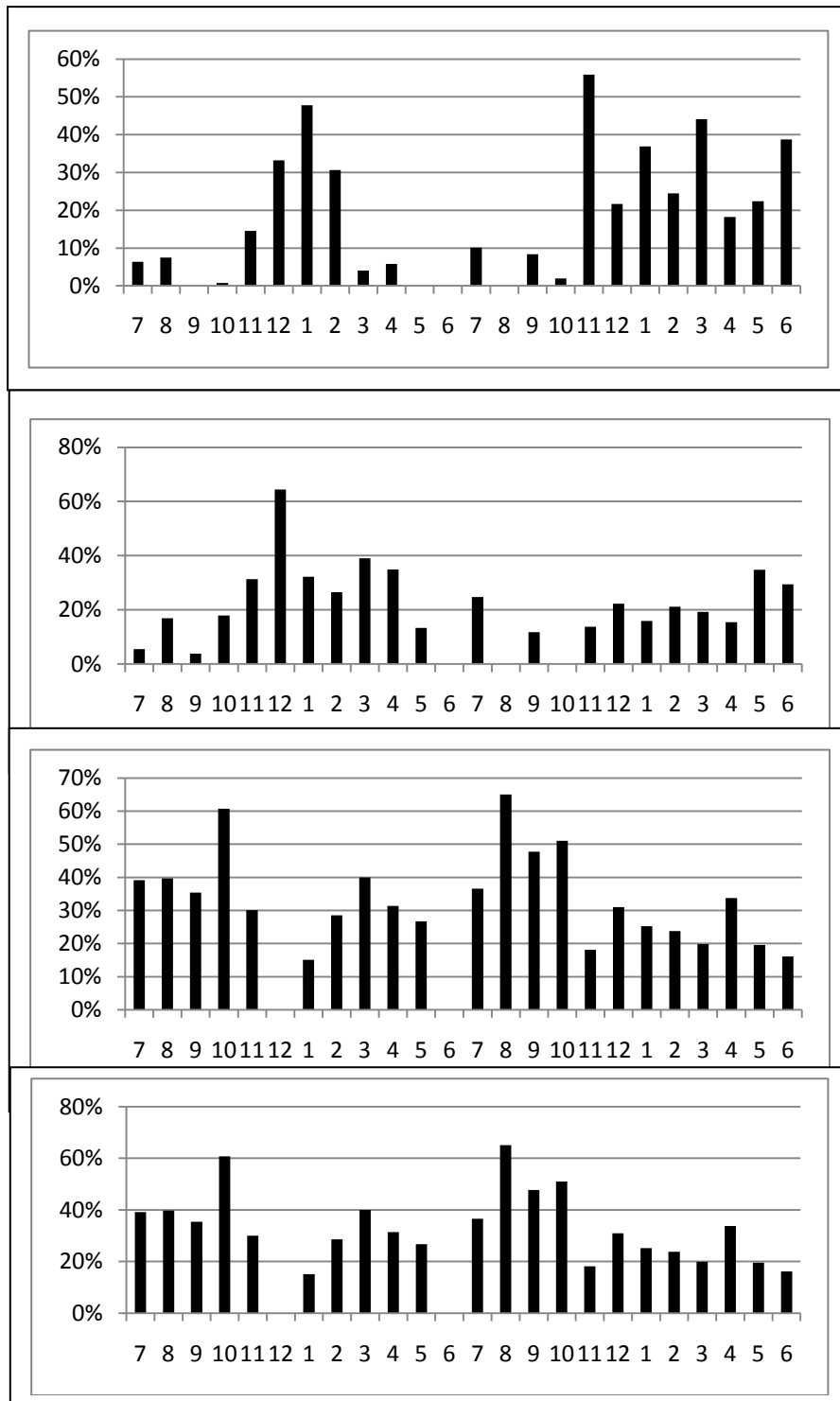


圖 3-6 同圖 3-5，但為大霧。

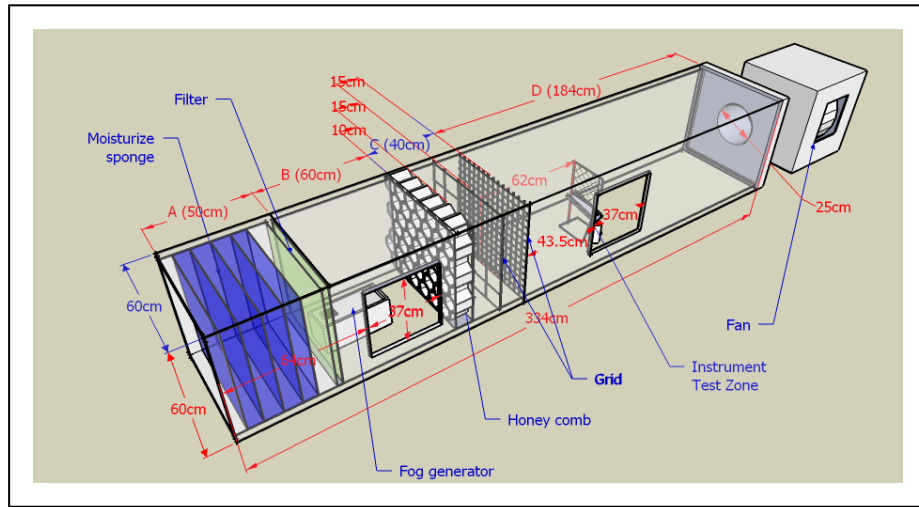


圖 3-7 臺灣大學大氣科學系霧風洞(Fog Tunnel)示意圖與量測現

場。

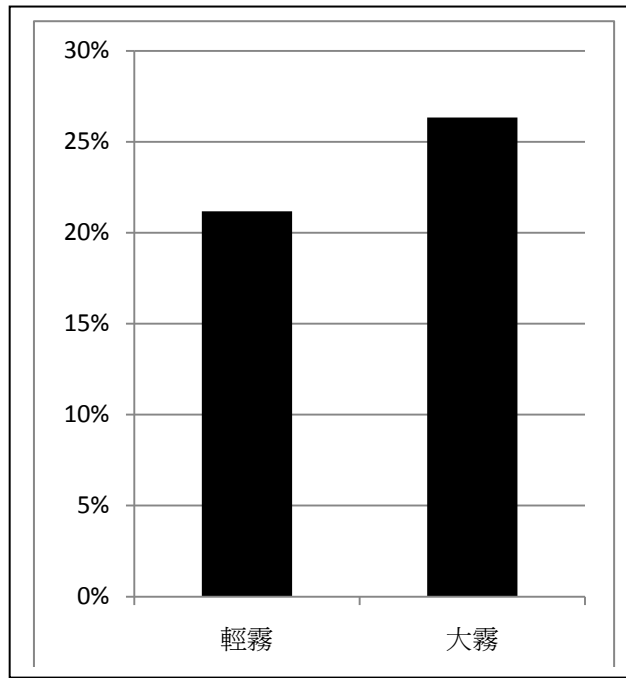


圖 3-8 2009 年 11 月 19 日至 2010 年 6 月 12 日白晝(6:00am 至 6:00pm)

山椒魚棲息地之不同霧濃度發生的總百分比(分母為所有 TLI 有效記

錄筆數)。

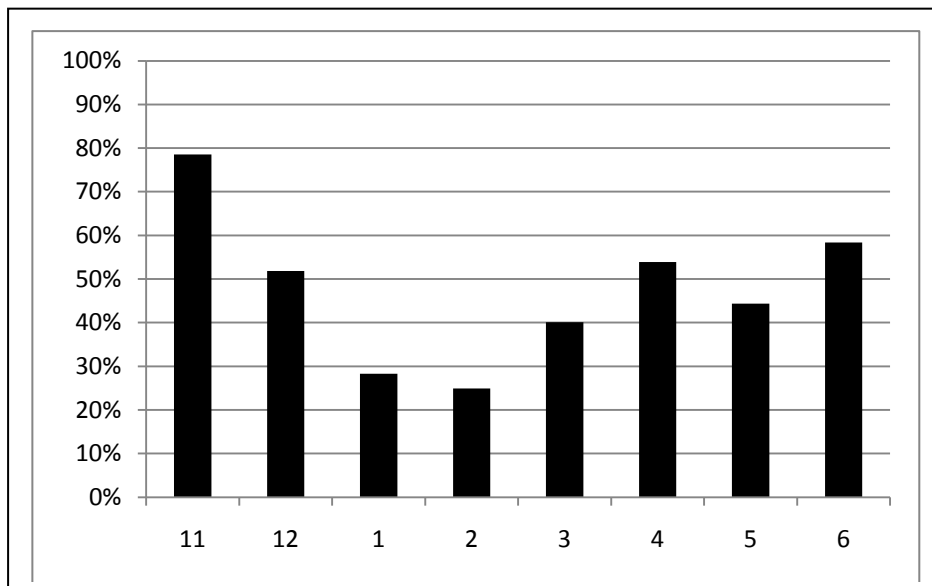


圖 3-9 2009 年 11 月 19 日至 2010 年 6 月 12 日白晝期間，山椒魚棲

息地各月份霧事件發生的百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數，但扣

除輕霧大霧重覆發生的次數)。

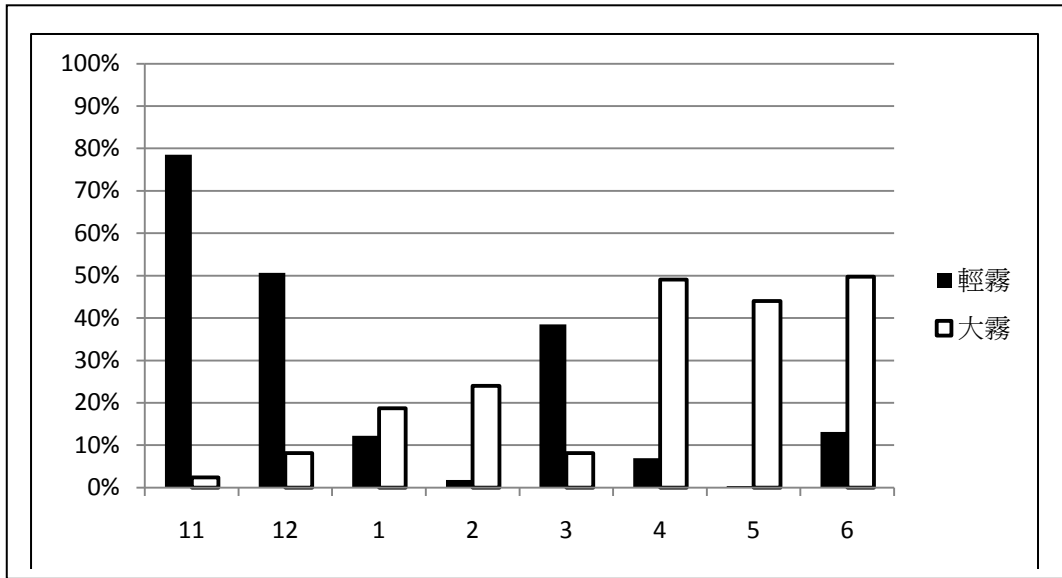


圖 3-10 2009 年 11 月至 2010 年 6 月白晝期間，山椒魚棲息地不同霧濃度事件在各月份發生的相對百分比(分母為該月份 TLI 記錄筆數)。

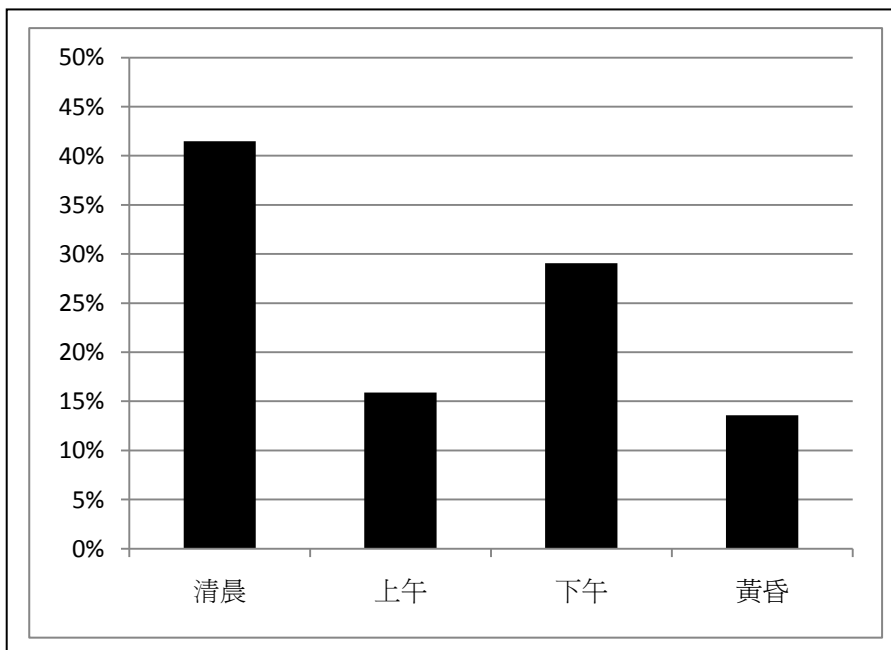


圖 3-11 2009 年 11 月 19 日至 2010 年 6 月 12 日山椒魚棲息地白晝不同時段霧濃度發生的總百分比(分母為所有 TLI 有霧發生之筆數)。

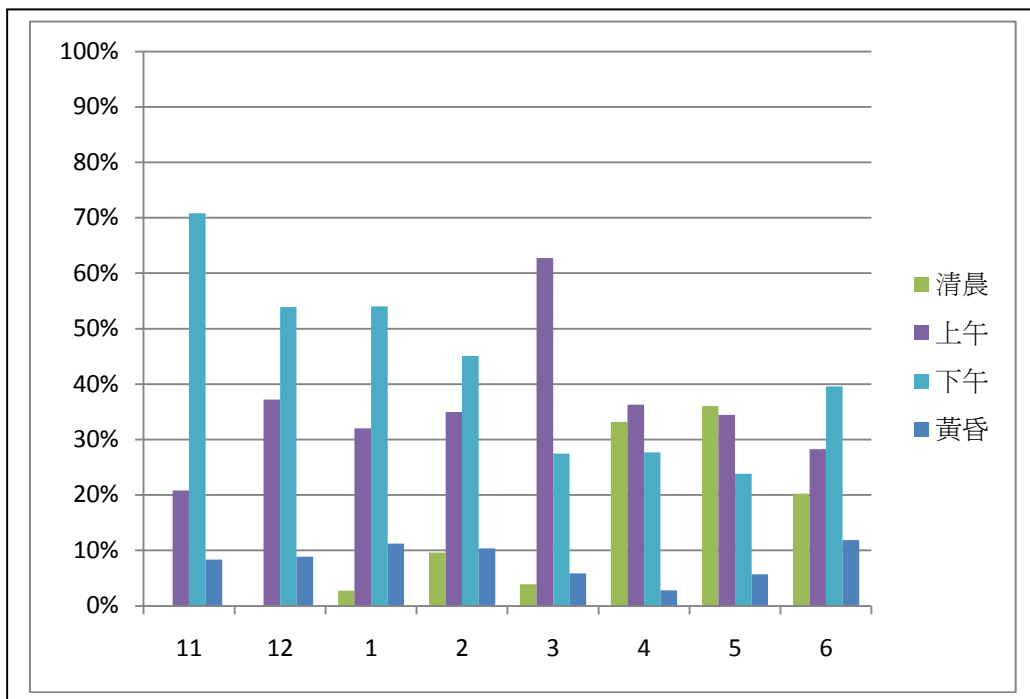
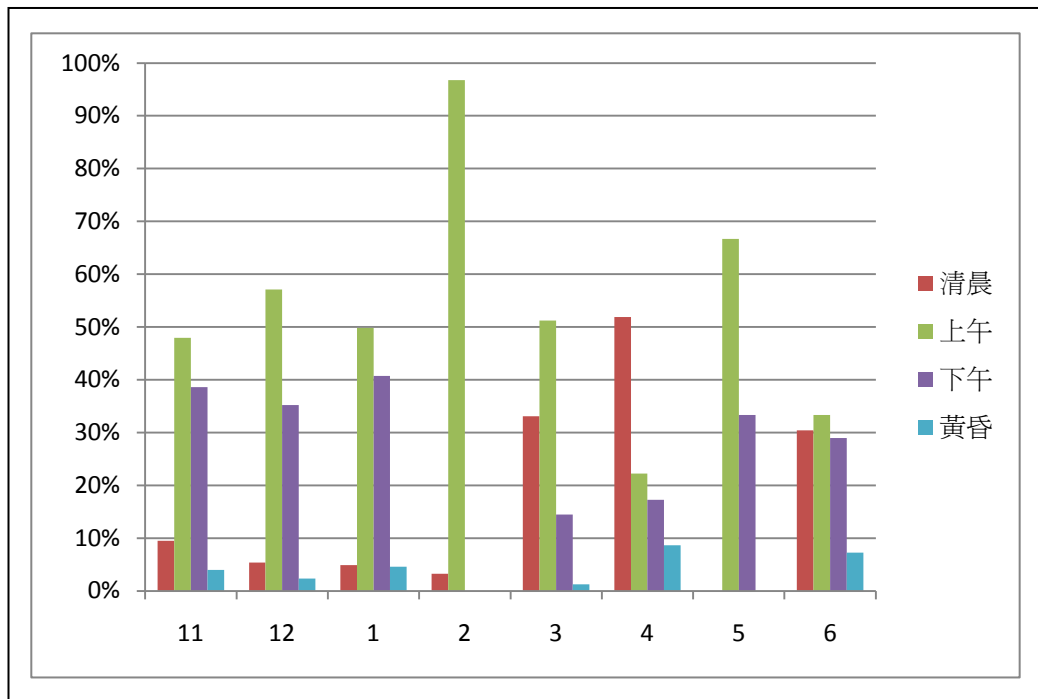


圖 3-12 山椒魚棲息地 2009 年 11 月至 2010 年 6 月不同時段不同濃度霧事件發生相對百分比(以各月份各霧種總量為分母)之逐月變化，由上而下分別是輕霧、大霧。

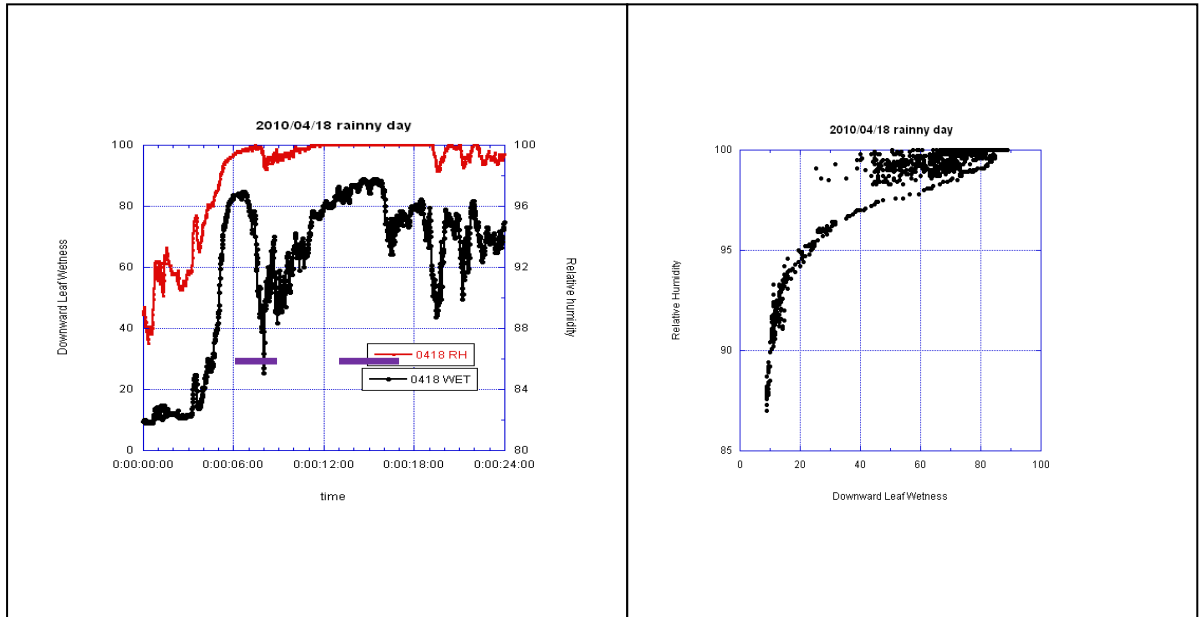


圖 3-13 2010 年 4 月 18 日(有雨日)山椒魚試驗地(左)每分鐘相對濕度(紅線)與 DLW(黑線)時間序列圖，紫線為雪霸站降雨時段。(右)相對濕度與 DLW 散布圖。

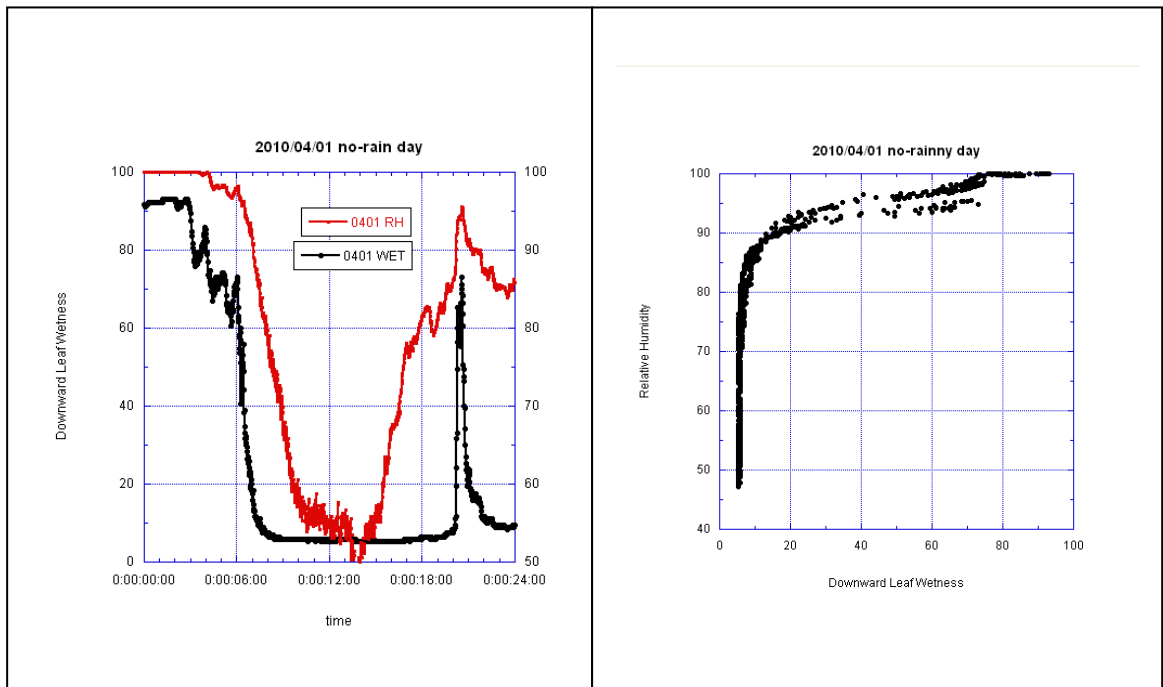


圖 3-14 同圖 3-13，但為 2010 年 4 月 1 日(無雨日)。

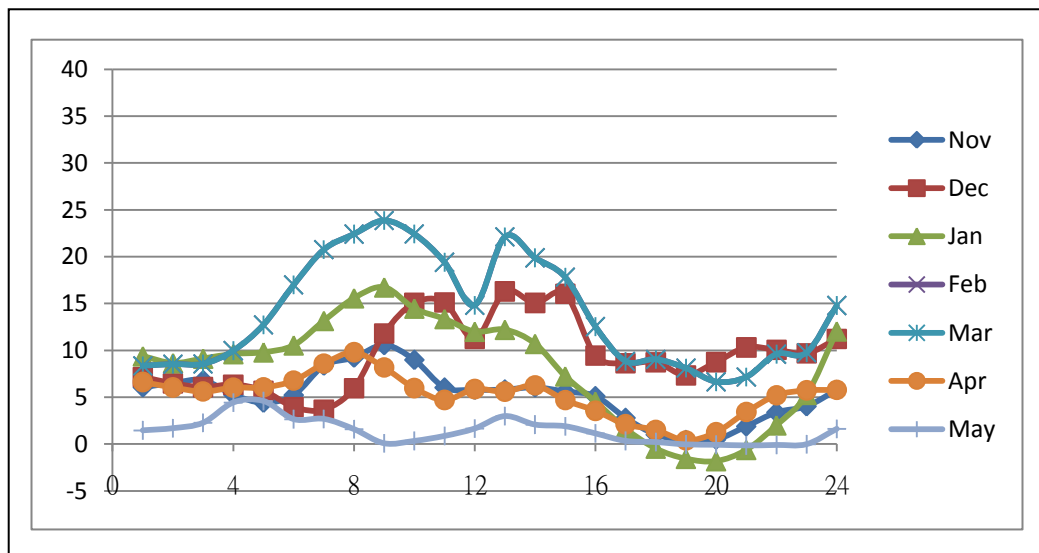
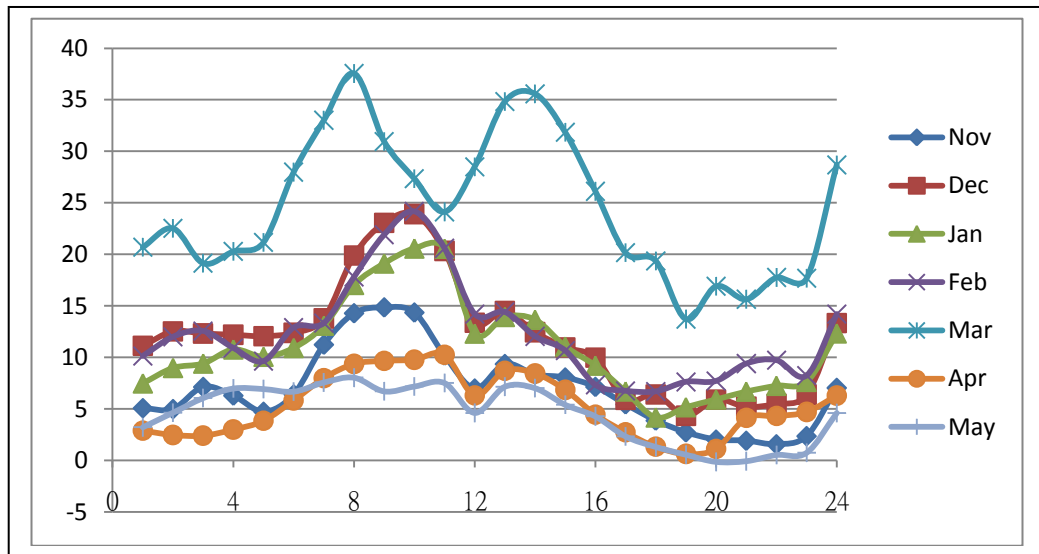


圖 3-15 2009 年 11 月~2010 年 4 月期間，山椒魚棲息地扣除山椒魚試驗地相對濕度差值(%)的逐時變化，(上)有霧日(下)無霧日。

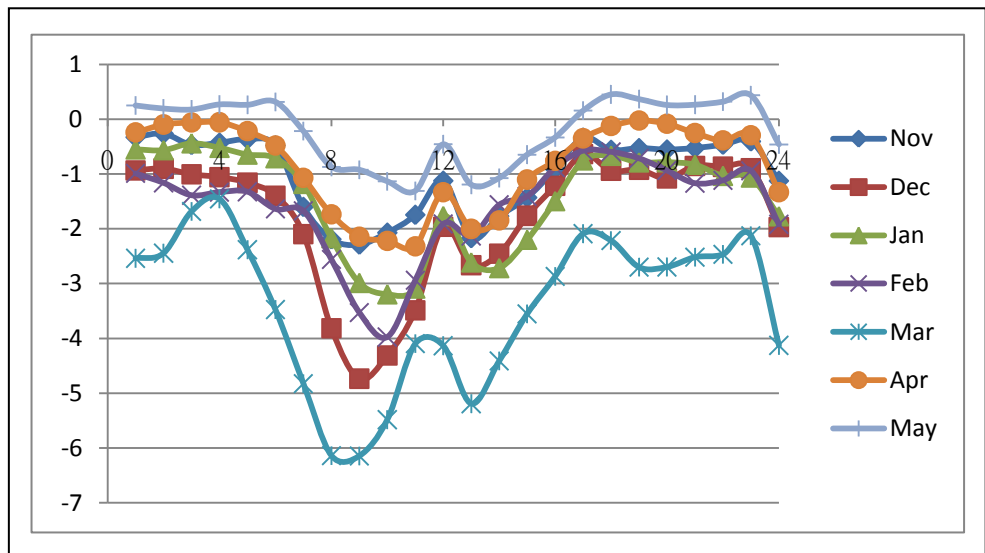
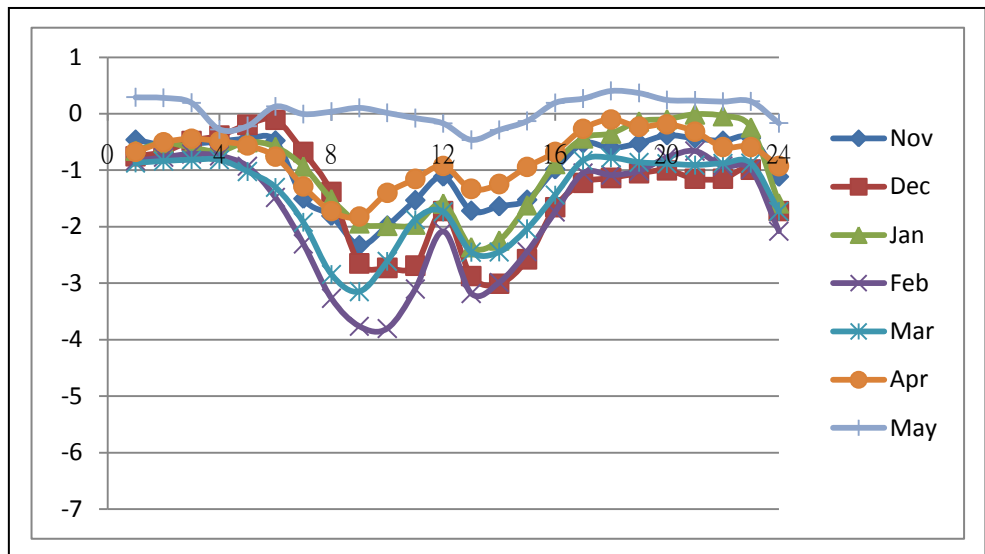


圖 3-16 同圖 3-15，但為氣溫(°C)。

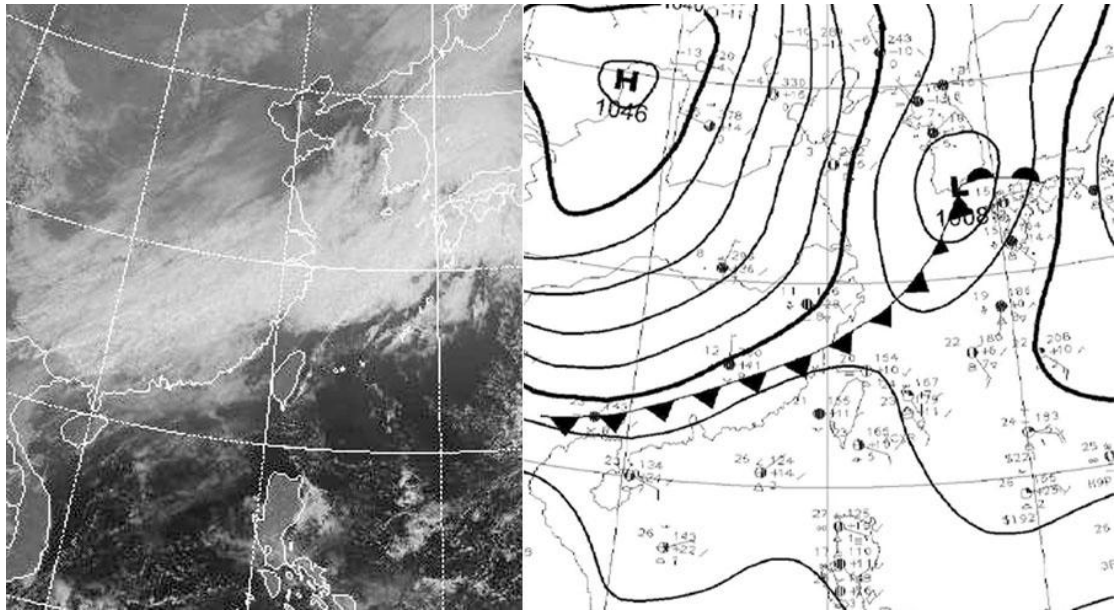


圖 3-17 2009 年 3 月 13 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖
(冷鋒)。

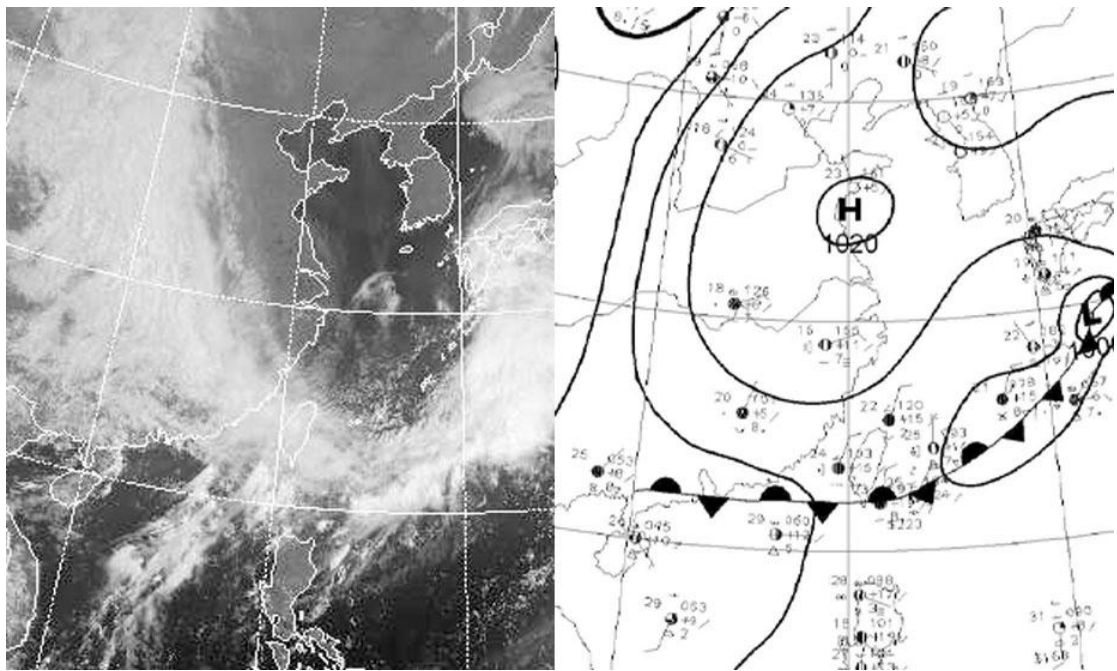


圖 3-18 2009 年 5 月 27 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖
(滯留鋒)。

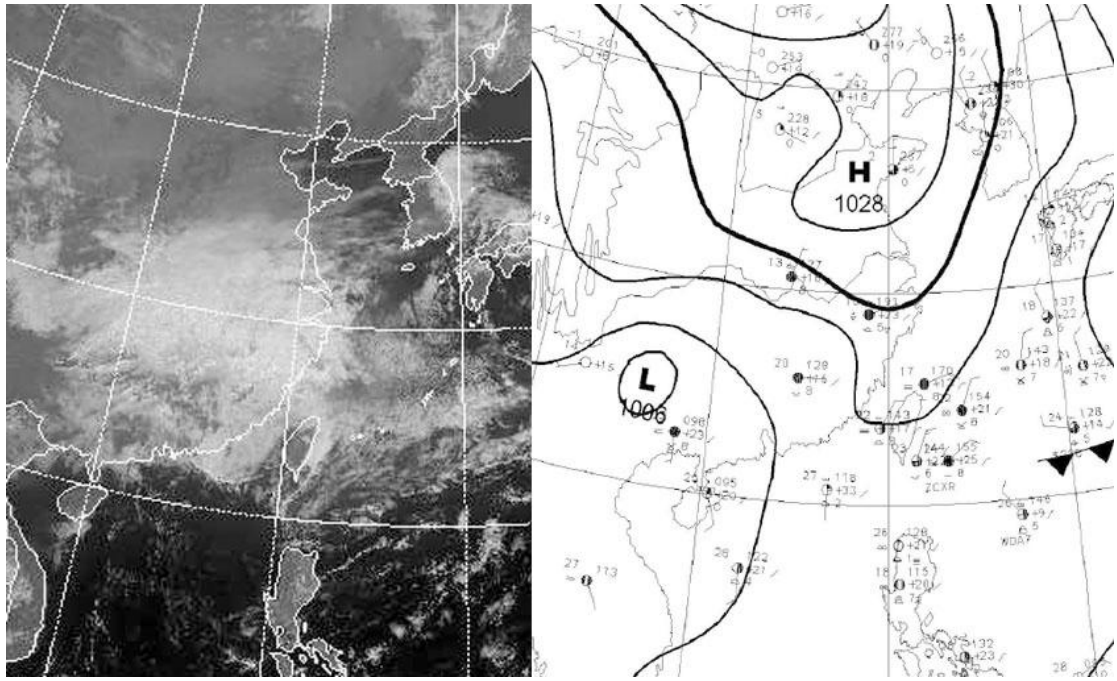


圖 3-19 2009 年 3 月 23 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖

(華南雲雨帶)。

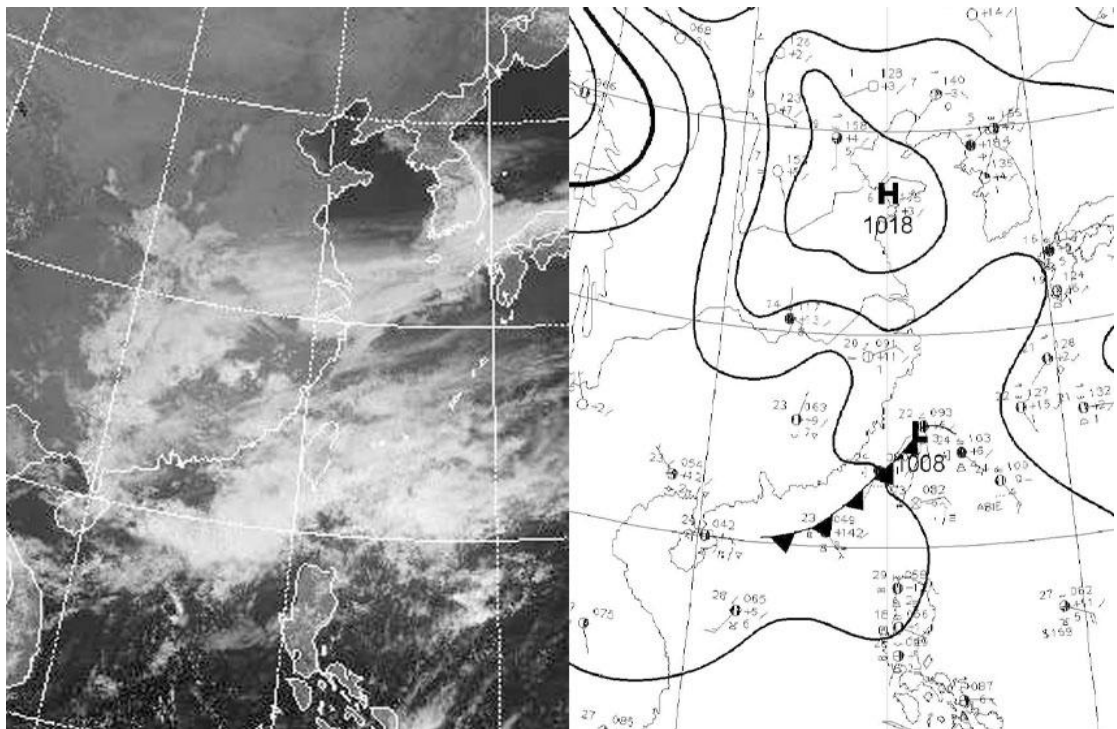


圖 3-20 2009 年 4 月 26 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖

(臺灣低壓)。

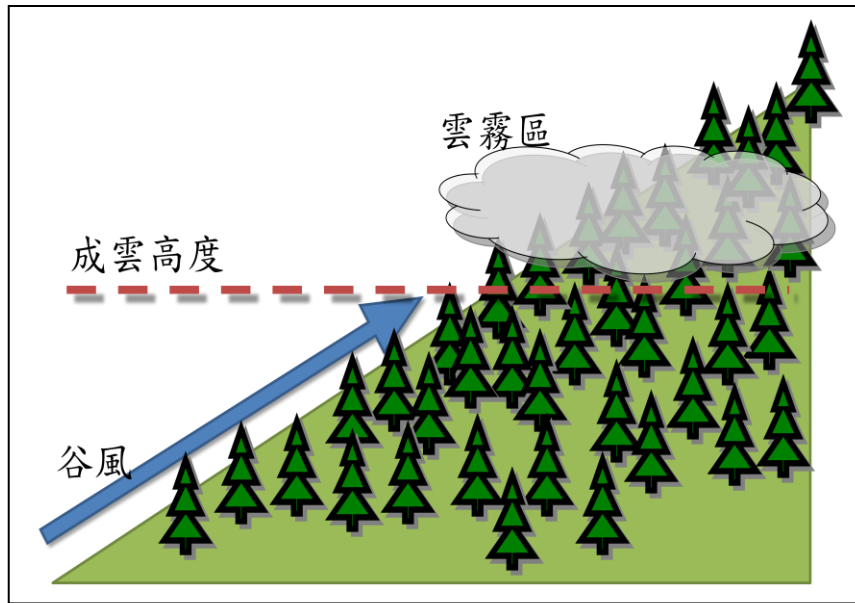


圖 3-21 谷風在山坡形成的雲霧示意圖。

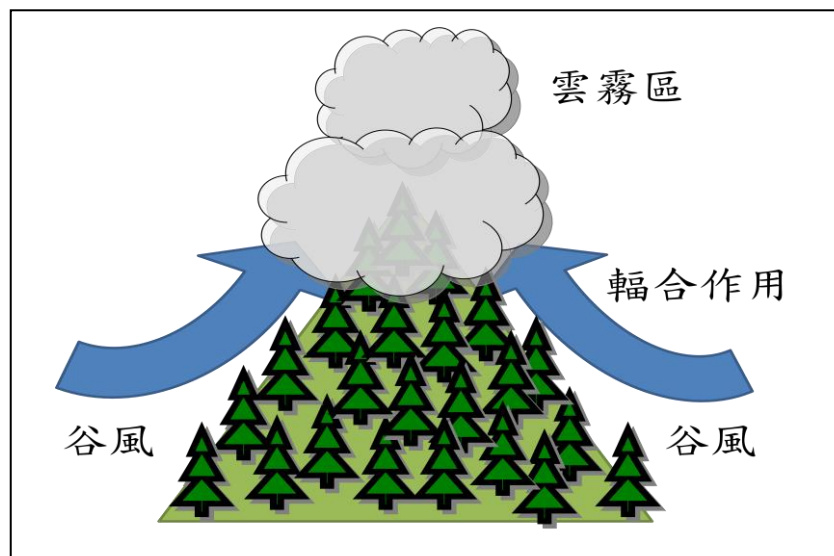


圖 3-22 谷風在山頂或稜線形成的雲霧示意圖。

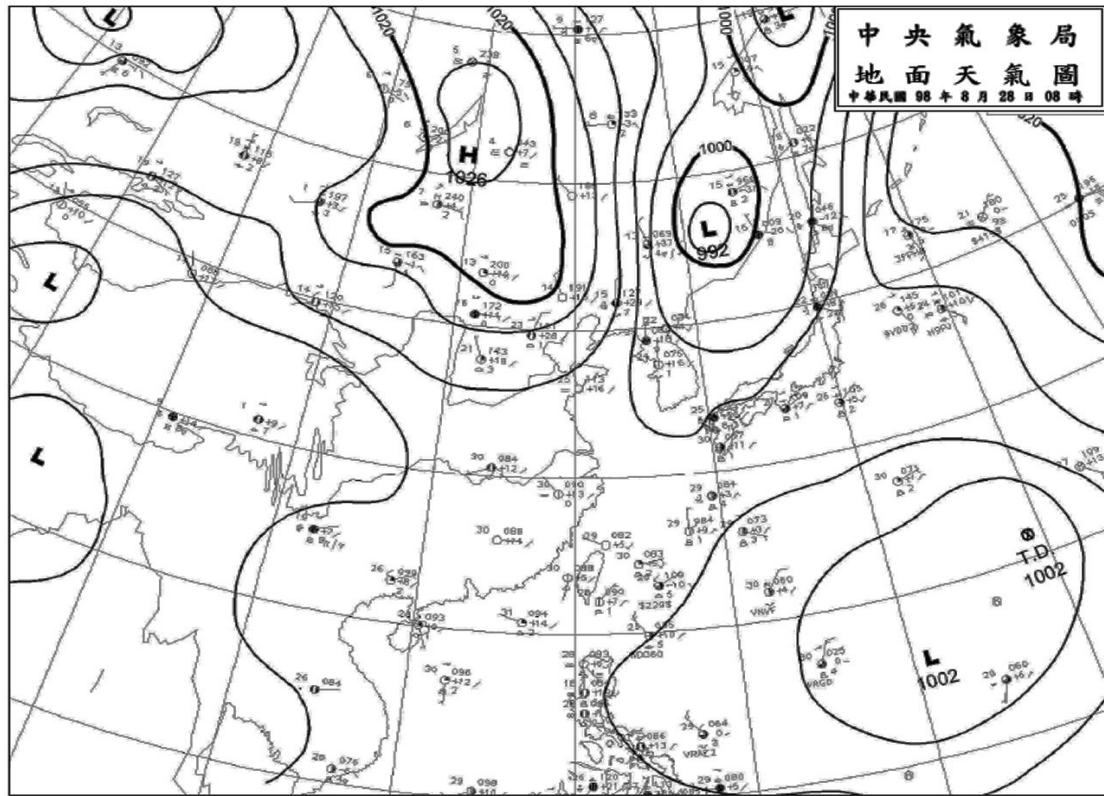


圖 3-23 2009 年 8 月 28 日 00:00UTC 地面天氣圖(微弱太平洋高壓低壓)。

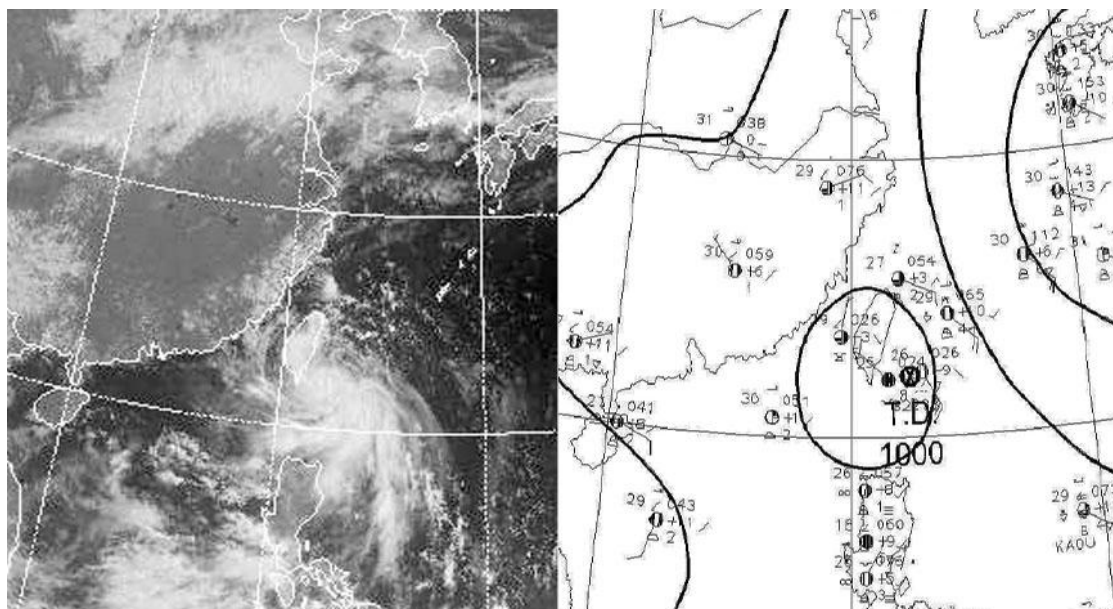


圖 3-24 2009 年 7 月 13 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖(熱帶低壓)。

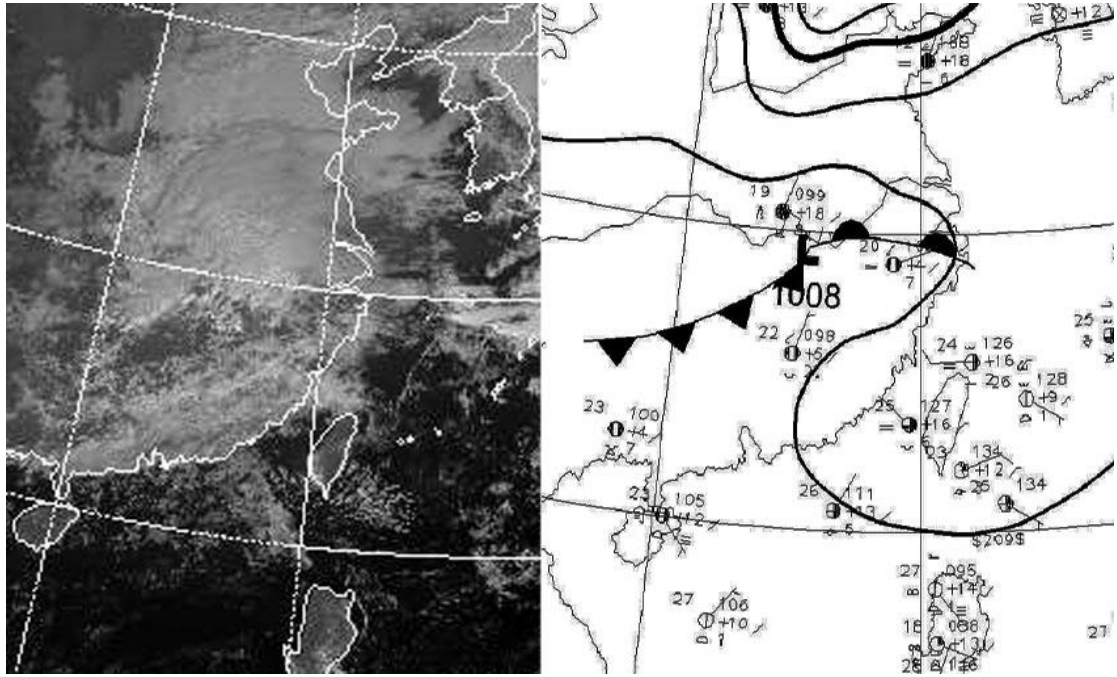


圖 3-25 2009 年 11 月 9 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖

(鋒前次環流)。

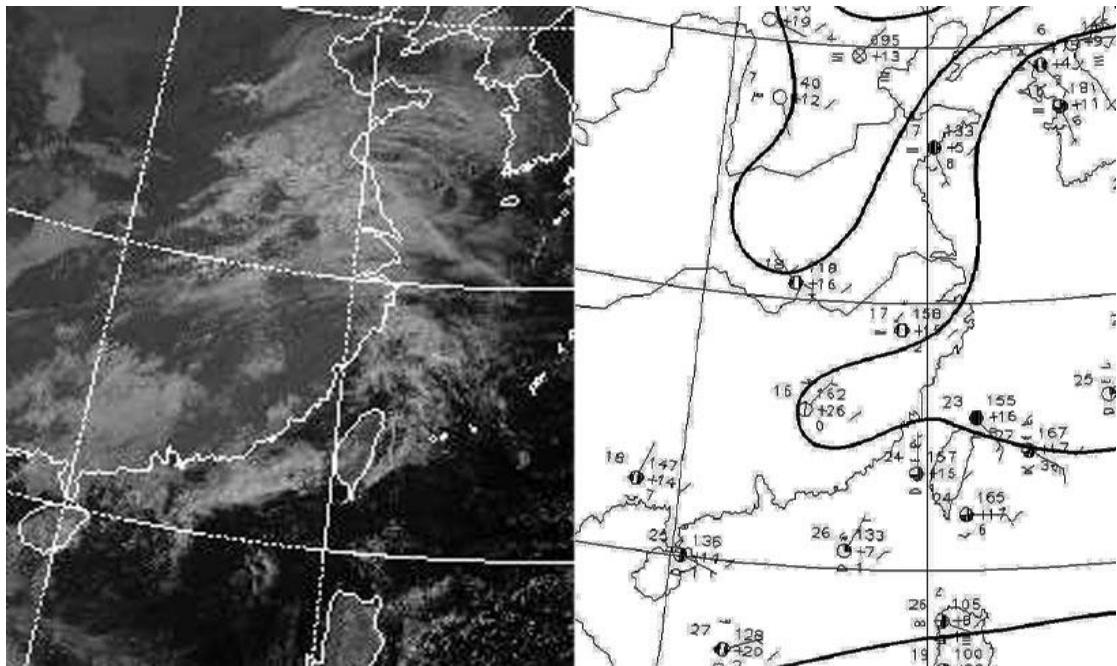


圖 3-26 2009 年 11 月 10 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖(海

上低雲)。

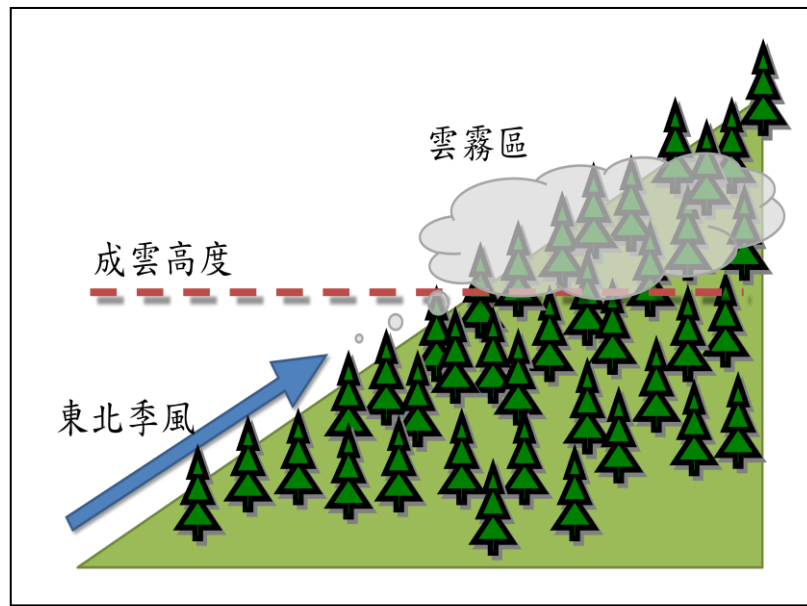


圖 3-27 東北季風在迎風面爬升的成雲機制示意圖。

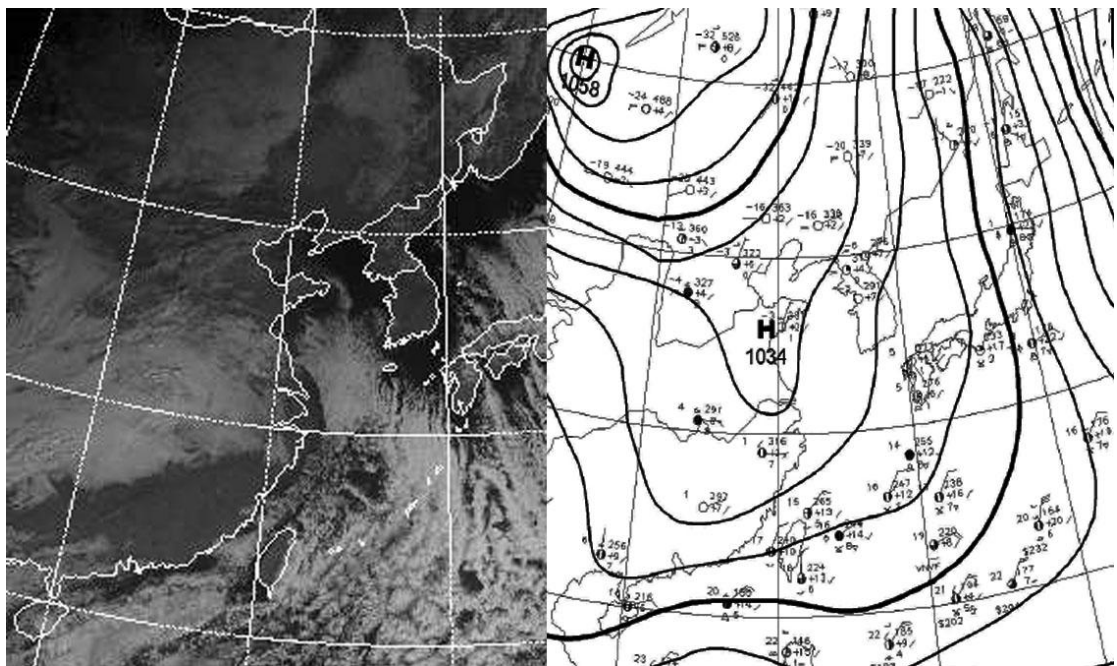


圖 3-28 2009 年 2 月 13 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖
(東北季風)。

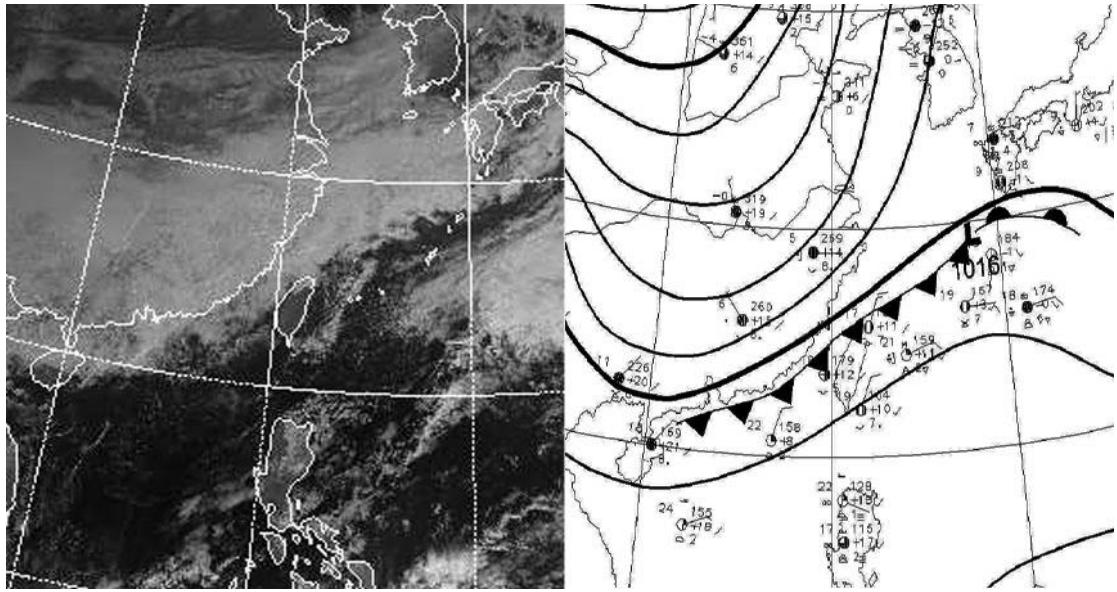


圖 3-29 2010 年 1 月 11 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖
(鋒面雲系)。

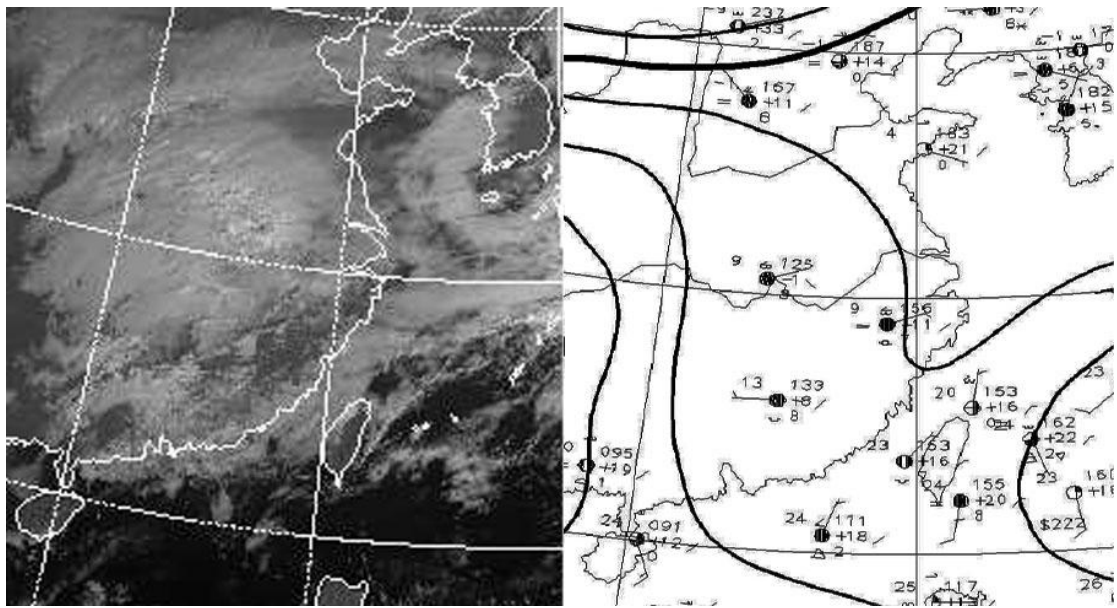


圖 3-30 2009 年 2 月 24 日 00:00UTC 紅外衛星雲圖(左)和地面天氣圖
(華南雲雨帶)。

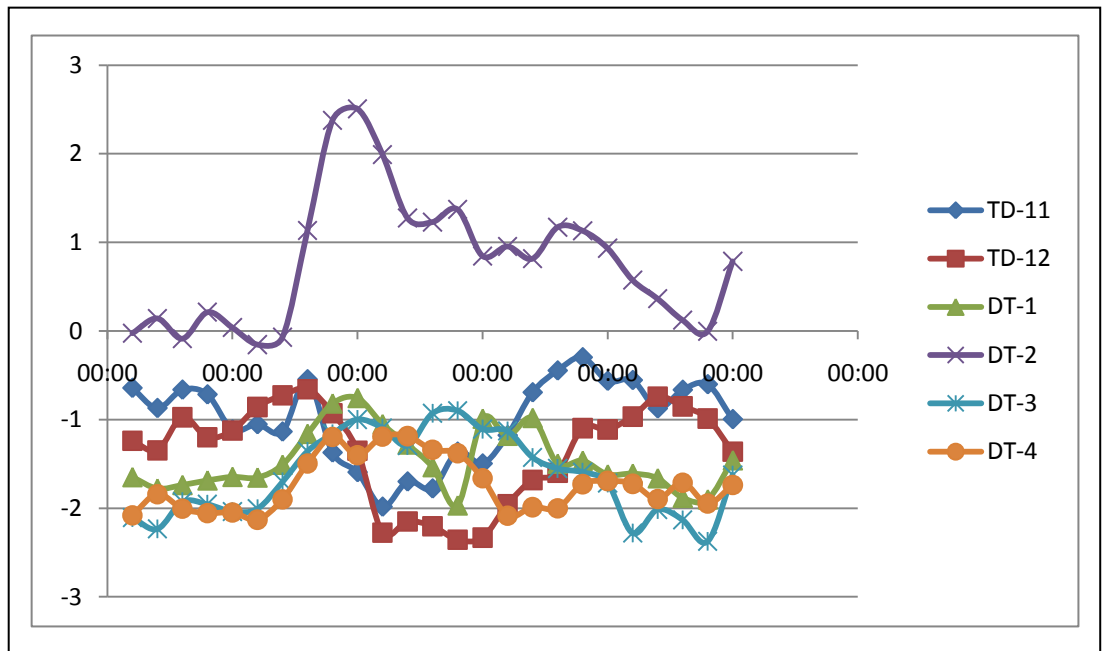


圖 3-31 2009 年 11 月~2010 年 4 月期間，觀霧管理站扣減雪霸氣象站的逐時氣溫差值(°C)。

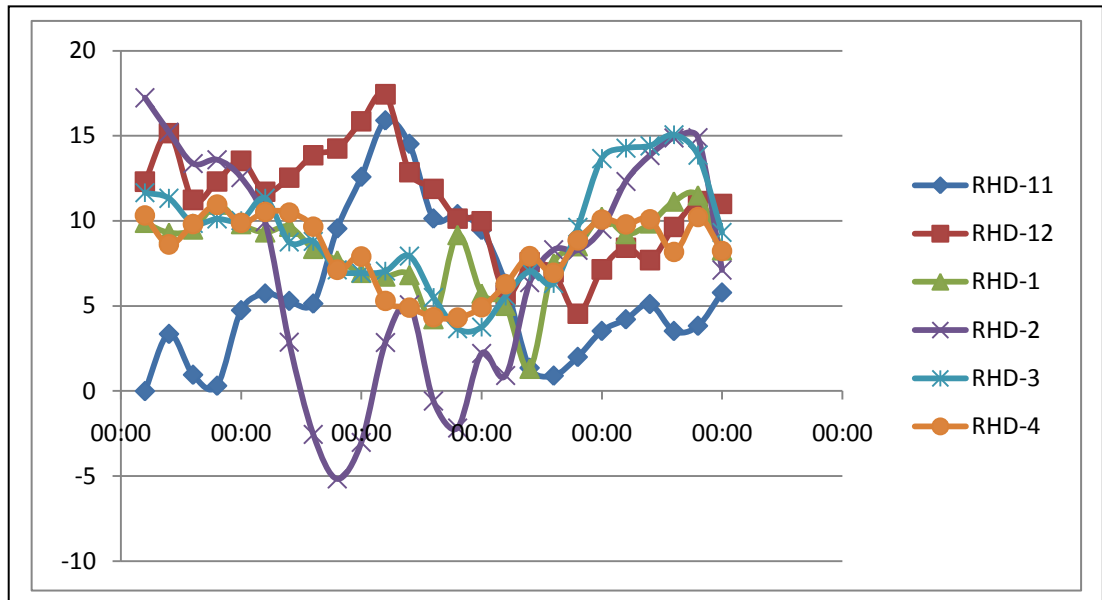


圖 3-32 同圖 3-31，但為相對濕度差值(%)。

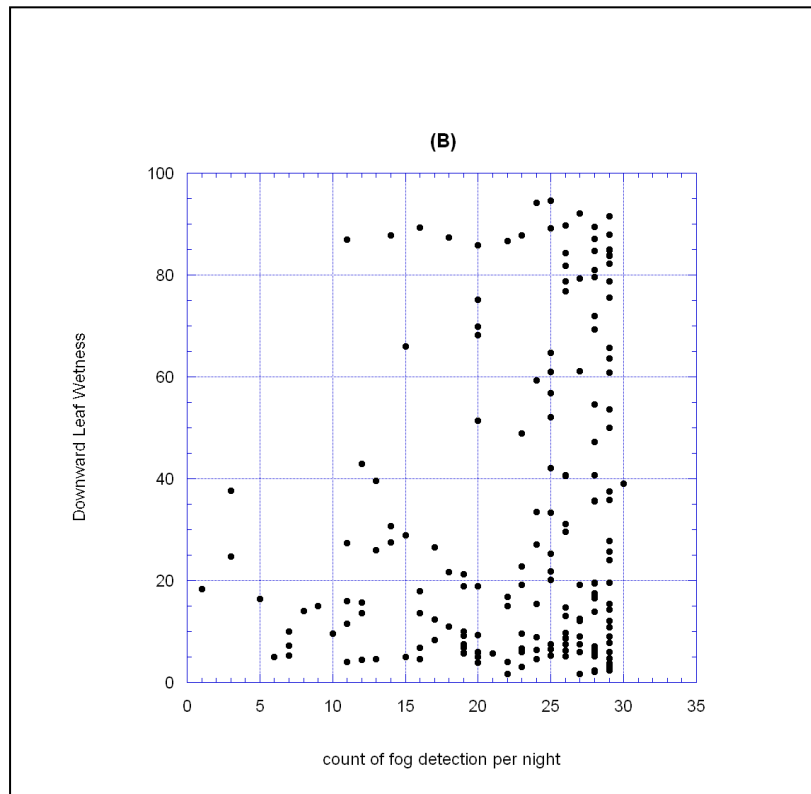
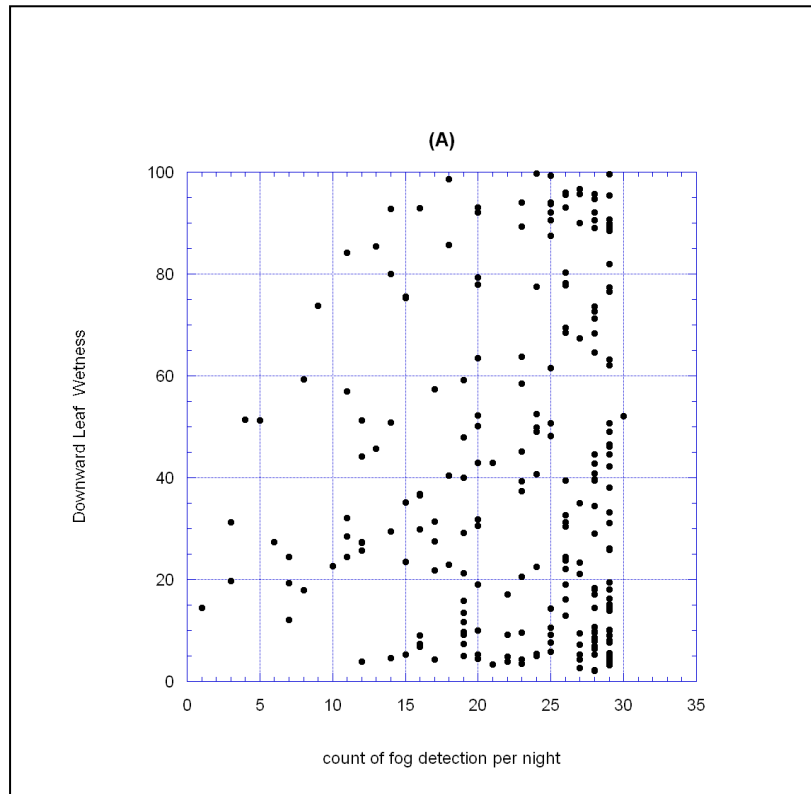


圖 3-33 MTSAT 低雲/霧每夜之計次(X 軸)和的 DLW(Y 軸)的散布圖

(上)山椒魚試驗地(下)山椒魚棲息地。

附錄: TLI 有效資料霧事件發生日期之天氣型態

日期	天氣型態	輕霧	大霧
2008/7/21	午後多雲或陣雨		YES
2008/7/22	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/7/23	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/7/24	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/7/25	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/7/26	熱帶低壓	YES	YES
2008/7/27	熱帶低壓	YES	YES
2008/7/28	熱帶低壓	YES	YES
2008/7/29	熱帶低壓	YES	YES
2008/7/30	熱帶低壓	YES	YES
2008/7/31	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/1	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/2	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/3	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/4	午後多雲或陣雨	YES	
2008/8/5	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/6	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/7	熱帶低壓	YES	YES
2008/8/8	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/9	午後多雲或陣雨	YES	YES

2008/8/10	熱帶低壓	YES	YES
2008/8/11	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/13	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/14	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/15	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/8/16	午後多雲或陣雨	YES	YES
2008/9/4	鋒面雲系	YES	YES
2008/9/5	午後多雲短暫陣雨	YES	YES
2008/9/6	午後多雲短暫陣雨	YES	YES
2008/9/7	午後多雲短暫陣雨	YES	YES
2008/9/8	午後多雲短暫陣雨	YES	YES
2008/9/9	熱帶氣旋	YES	YES
2008/9/10	熱帶氣旋	YES	YES
2008/9/11	熱帶氣旋	YES	YES
2008/10/17	東北季風	YES	YES
2008/10/18	東北季風	YES	YES
2008/10/19	東北季風	YES	YES
2008/10/20	東北季風	YES	YES
2008/10/21	東北季風	YES	YES
2008/10/22	午後多雲短暫陣雨	YES	YES
2008/10/23	鋒面前次環流	YES	YES

2008/11/2	東北季風	YES	
2008/11/3	鋒面雲系	YES	YES
2008/11/4	東北季風	YES	YES
2008/11/5	東北季風	YES	YES
2008/11/6	午後多雲短暫陣雨	YES	YES
2008/11/9	鋒面雲系	YES	YES
2008/11/10	東北季風	YES	YES
2008/11/11	東北季風	YES	YES
2008/11/12	東北季風	YES	YES
2008/11/13	東北季風	YES	YES
2008/11/14	東北季風	YES	YES
2008/11/15	東北季風	YES	YES
2008/11/16	東北季風	YES	YES
2008/11/17	東北季風	YES	
2008/11/18	東北季風	YES	YES
2008/11/19	東北季風	YES	YES
2008/11/20	東北季風	YES	YES
2008/11/21	東北季風	YES	
2008/11/22	東北季風	YES	YES
2008/11/23	鋒面雲系	YES	YES
2008/11/24	鋒面雲系	YES	YES

2008/11/27	東北季風	YES	YES
2008/11/28	東北季風	YES	YES
2008/11/29	東北季風	YES	YES
2008/11/30	東北季風	YES	YES
2008/12/1	東北季風	YES	YES
2008/12/2	東北季風	YES	YES
2008/12/5	東北季風	YES	YES
2008/12/6	東北季風	YES	YES
2008/12/7	東北季風	YES	YES
2008/12/8	鋒面雲系	YES	YES
2008/12/9	鋒面雲系	YES	YES
2008/12/10	東北季風	YES	YES
2008/12/11	東北季風	YES	YES
2008/12/12	東北季風	YES	YES
2008/12/19	東北季風		YES
2008/12/20	東北季風	YES	YES
2008/12/21	東北季風	YES	YES
2008/12/22	鋒面雲系	YES	YES
2008/12/23	鋒面雲系	YES	YES
2009/1/1	東北季風	YES	YES
2009/1/2	東北季風	YES	YES

2009/1/3	東北季風	YES	YES
2009/1/4	鋒面雲系	YES	YES
2009/1/5	東北季風	YES	YES
2009/1/6	東北季風	YES	YES
2009/1/7	東北季風	YES	YES
2009/1/8	東北季風	YES	YES
2009/2/3	鋒面雲系	YES	YES
2009/2/4	鋒面雲系	YES	YES
2009/2/5	鋒面雲系	YES	YES
2009/2/22	華南雲雨帶	YES	YES
2009/2/24	華南雲雨帶	YES	
2009/2/25	華南雲雨帶	YES	
2009/2/26	鋒面雲系	YES	YES
2009/2/27	鋒面雲系	YES	YES
2009/3/6	鋒面雲系(冷鋒)	YES	
2009/3/7	鋒面雲系(冷鋒)	YES	
2009/3/8	鋒面雲系(冷鋒)	YES	YES
2009/3/9	鋒面雲系(冷鋒)	YES	YES
2009/3/11	華南雲雨帶	YES	YES
2009/3/13	鋒面雲系(冷鋒)		YES
2009/3/14	鋒面雲系(冷鋒)	YES	YES

2009/3/17	高壓回流(海面低雲)	YES	YES
2009/3/22	鋒面雲系(冷鋒)	YES	YES
2009/3/23	華南雲雨帶	YES	YES
2009/4/15	華南雲雨帶	YES	YES
2009/4/16	台灣低壓	YES	YES
2009/4/17	台灣低壓	YES	YES
2009/4/18	華南雲雨帶	YES	YES
2009/5/27	鋒面雲系(滯留鋒)	YES	YES
2009/5/28	鋒面雲系(滯留鋒)	YES	YES
2009/7/3	滯留鋒	YES	YES
2009/7/6	午後多雲或陣雨		YES
2009/7/7	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/8	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/9	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/10	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/11	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/12	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/13	熱帶低壓	YES	YES
2009/7/14	熱帶低壓	YES	YES
2009/7/15	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/16	午後多雲或陣雨	YES	YES

2009/7/17	熱帶低壓		YES
2009/7/18	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/19	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/20	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/25	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/26	午後多雲或陣雨	YES	
2009/7/27	午後多雲或陣雨	YES	
2009/7/28	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/29	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/30	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/7/31	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/8/1	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/8/27	午後多雲或陣雨	YES	
2009/8/28	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/8/29	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/8/30	午後多雲或陣雨	YES	YES
2009/9/3	熱帶氣旋	YES	YES
2009/9/4	熱帶氣旋	YES	YES
2009/9/5	熱帶氣旋	YES	YES
2009/9/6	熱帶氣旋	YES	YES
2009/9/7	午後多雲短暫陣雨	YES	YES

2009/9/21	東北季風	YES	YES
2009/9/22	東北季風	YES	YES
2009/10/6	熱帶氣旋	YES	YES
2009/10/29	熱帶氣旋	YES	
2009/10/30	熱帶氣旋	YES	YES
2009/10/31	熱帶氣旋	YES	
2009/11/1	鋒面雲系	YES	YES
2009/11/2	東北季風	YES	YES
2009/11/3	東北季風	YES	YES
2009/11/4	東北季風		YES
2009/11/5	東北季風		YES
2009/11/6	海面低雲	YES	YES
2009/11/7	海面低雲	YES	YES
2009/11/8	海面低雲	YES	
2009/11/9	鋒面前次環流	YES	YES
2009/11/10	鋒面雲系	YES	YES
2009/11/12	鋒面前次環流	YES	YES
2009/11/13	鋒面雲系	YES	YES
2009/11/14	東北季風		YES
2009/11/15	東北季風	YES	YES
2009/11/16	鋒面雲系	YES	YES

2009/11/17	東北季風	YES	YES
2009/11/18	東北季風	YES	YES
2009/11/19	東北季風	YES	
2009/11/20	東北季風	YES	YES
2009/11/21	東北季風	YES	YES
2009/11/22	東北季風	YES	
2009/11/23	東北季風	YES	YES
2009/11/24	東北季風	YES	
2009/11/25	東北季風		YES
2009/11/26	東北季風	YES	
2009/11/27	東北季風	YES	YES
2009/11/28	東北季風	YES	
2009/11/30	東北季風	YES	YES
2009/12/6	東北季風	YES	
2009/12/8	東北季風	YES	
2009/12/9	東北季風	YES	YES
2009/12/10	鋒面雲系	YES	YES
2009/12/11	東北季風	YES	YES
2009/12/14	東北季風	YES	YES
2009/12/15	東北季風	YES	
2009/12/16	東北季風	YES	YES

2009/12/17	東北季風	YES	YES
2009/12/18	東北季風	YES	YES
2009/12/19	東北季風	YES	YES
2009/12/20	東北季風	YES	YES
2009/12/21	東北季風	YES	
