

利用衛星影像及監測數據分析高屏溪揚塵災害 與潛在發生區位

林彥儀¹ 林宇家¹ 洪子棋¹ 林佳慧^{2*}

摘要

本文嘗試探索高屏溪揚塵災害之原因及來源。我們蒐集風速、風向與 PM₁₀ 資料，繪製 2012 年以來三場揚塵災害的風花圖與 PM₁₀ 分布圖，發現高屏溪揚塵主要受強烈南風揚起，具沿河向北輸送的特性。為找到揚塵來源，我們將 2018~2020 年三個時段的衛星影像轉成 NDVI 與 NDWI，透過前後期顏色變化找出休耕農地、沙洲與高低灘地。我們也利用 QGIS-SCP 將衛星影像做監督式分類，轉成向量模式後進行跨年度疊圖，發現研究區北段的二重溪河道沙洲，與面積大且長時間休耕的農場，揚塵潛在威脅最大。最後以衛星影像分析與實地考察結果，繪出高屏溪揚塵潛在發生區位，提供揚塵抑制規劃參考。

關鍵詞：揚塵、高屏溪、福衛五號、衛星影像分析、監測數據分析

1. 前言

1.1 研究動機

返家時發現全家地面、桌面一層沙，離家一天以上一定得緊閉窗戶，這些都是莫拉克風災後高屏溪沿岸居民的真實生活寫照。高雄市大樹區、大寮區，屏東縣里港鄉、屏東市等地居民，多年來深受河川揚塵所困擾。我們好奇，高屏溪兩岸鄉鎮究竟為何經常發生揚塵事件？什麼季節容易發生？揚塵沙源又從何而來？

1.2 文獻回顧

衛星影像應用在揚塵的研究多集中濁水溪流域，林昭遠及莊智瑋 (2009) 透過 SPOT 影像分析和邊緣萃取技術劃定河川裸露地潛在發生區位，提供管理機關擬定揚塵抑制策略。然而傳統衛星光譜解析度不足，難以區分土地利用，邱郁瑄等 (2011) 於是開發出影像梯度差異進行邊緣萃取，給定面積門檻值，更準確地找到揚塵潛在發生區位。林文印

(2014) 透過衛星影像掌握河道植被及裸露地範圍，並以風洞試驗探討河川揚塵特性，建立起 PM₁₀ 排放推估公式。盧俊中 (2017) 在高屏溪高灘地設置採樣點，採集 2012~2013 年共 7 次揚塵事件日的 PM₁₀ 質量濃度，並採集表土進行化學分析，研究結果顯示風蝕揚塵在不同風向對 PM₁₀ 有不同的貢獻百分率。

鑑於前人研究多集中在揚塵災害較為嚴重的濁水溪流域，高屏溪流域揚塵相關研究鮮少；研究方法上前人多從衛星影像加以分析詮釋，少有將氣象因素 (如風速、風向、測站位置) 與揚塵事件進行比對，以分析其相關性，且甚少提及河道沙洲以外的揚塵來源。

1.3 研究目的

因此，我們從高屏溪流域曾經發生過的揚塵事件出發，比對流域內空氣品質測站 PM₁₀ 濃度、風速、風向等資料，繪製揚塵事件當時的風花圖與 PM₁₀ 等值線圖。再進一步以影像分類技術與差異化植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index,

¹ 國立屏東女子高級中學 三年級學生

² 國立屏東女子高級中學 地理科教師

* 通訊作者, E-mail: geobelle12@gmail.com

收到日期：民國 110 年 11 月 01 日

修改日期：民國 110 年 11 月 24 日

接受日期：民國 110 年 12 月 13 日

NDVI)、差異化水體指數 (Normalized Difference Water Index, NDWI) 的計算, 找出河川揚塵的來源地。本文具體的研究目的如下:

- (1)了解高屏溪沿岸揚塵的發生特性
- (2)剖析高屏溪沿岸揚塵事件發生時風向、風速與 PM_{10} 空間分布的關係
- (3)找出高屏溪沿岸揚塵來源地與潛在發生區位

2. 研究資料與方法

2.1 研究範圍

本文從荖濃溪與隘寮溪交會後的二重溪到高屏溪出口為研究範圍, 包含河川右岸的高雄市美濃區、旗山區、大樹區、大寮區、林園區, 以及河川左岸的屏東縣里港鄉、九如鄉、屏東市、萬丹鄉、新園鄉等共 10 個鄉鎮 (圖 1)。

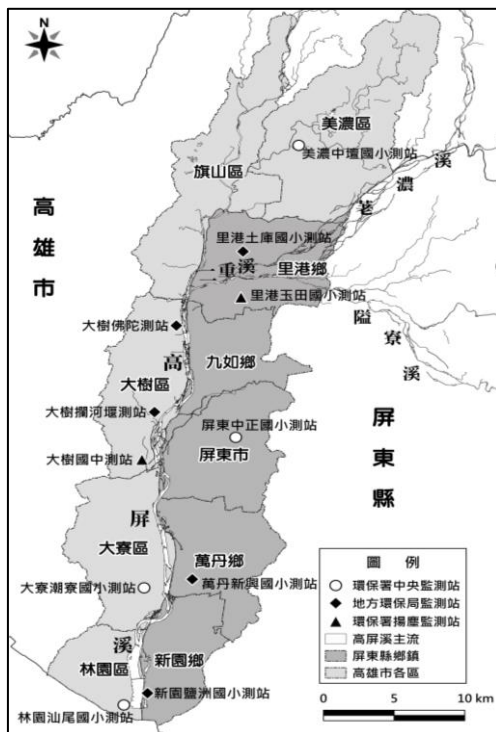


圖 1 研究範圍與高屏溪流域空氣品質監測站
資料來源: 點位座標來自行政院環境保護署, 2021c, 以 QGIS 3.10 繪製

2.2 研究材料

2.2.1 衛星影像資料

本研究使用福衛五號的衛星影像。福衛五號是

臺灣首顆自主研製的光學遙測與科學酬載的衛星, 時間解析度為二日再返, 空間解析度為黑白 2 m、彩色 4 m, 感測器接收的光譜如表 1 所示。我們透過國網中心資料集平台, 經由國家太空中心審核後, 免費申請到 2018 上半年、2018 下半年、2019 上半年、2020 上半年共四個時間多光譜並經校正後的正射影像 (MS-L4), 圖幅範圍包括高屏溪主流流域, 由北到南涵蓋 G031、G032、G033、G034 四張圖資。

表 1 福衛五號多光譜影像感測器接收的光譜表

	波段	名稱	波長(μm)
多光譜 影像 (MS)	Band1	Red(R, 紅光)	0.63~0.69
	Band2	Green(G, 綠光)	0.52~0.60
	Band3	Blue(B, 藍光)	0.45~0.52
	Band4	NIR(近紅外光)	0.76~0.90
全色態 影像 (PAN)			0.45~0.70

資料來源: 國家太空中心官網介紹, 本研究整理, <https://is.gd/VxknaD>

備註: 福衛五號的 Band1 定義為 Red 紅光, Band3 定義為藍光, 與許多國外衛星剛好相反

2.2.2 監測數據資料

臺灣正積極建構階層式的空品監測系統 (圖 2), 與本研究相關的包括空品監測下的中央監測、地方監測, 以及任務監測下的揚塵監測。

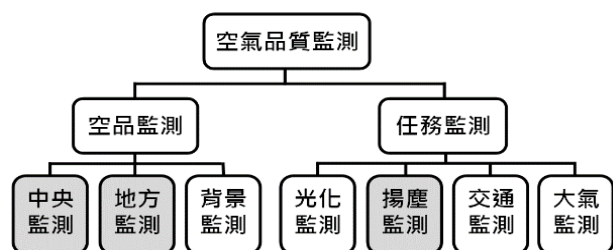


圖 2 環保署空氣品質監測資料之結構體系 (行政院環境保護署, 2021a)

環保署為了增進開放資料的使用效率, 將舊有的資料庫整合為「環保署環境資料開放平臺」(data.epa.gov.tw), 可透過單一網站介面下載歷史與即時資料, 讓使用者更方便獲取環境相關數據。本文中使用的環保署「中央一般空品監測站」與「任務監測揚塵監測站」與資料, 即是從此一平臺中查詢而得。

另外，我們也從高雄市環保局「推動河川揚塵防治宣導」網站 (kcg.riverdust.org)，以及屏東縣環保局的「高屏溪河川揚塵預警通報資訊平台」(ptrd.huan-yu.com.tw)，蒐集到地方政府環保局設立的監測站資料。

根據上文的空品監測體系，本研究採用高屏溪流流域測站共有 11 個 (圖 1)，分別隸屬：

- (1)中央監測一般空品監測站：由環保署設立，包括林園區汕尾國小、大寮區潮寮國小、美濃區中壇國小與屏東市中正國小等四個測站，皆成立於 1991 年 7 月。氣象監測項目包括如每小時的雨量、溫度、風速、風向等，環境監測項目包括 CO、SO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、NO₂、CH₄ 等，其中 PM₁₀ 與本研究最相關。
- (2)地方監測一般空品監測站：由地方環保局設立，監測項目較中央監測少，包括高雄市環保局設立的大樹區攔河堰與佛陀紀念館測站 (2016/01 起) 以及屏東縣環保局設立的萬丹鄉新興國小與里港鄉土庫國小 (2013/07 起)。
- (3)任務監測揚塵監測站：由環保署設立，以偵測河川揚塵為主要目標，包括高雄市大樹國中與屏東縣玉田國小兩站，2012 年 8 月啟用。監測項目較一般空品測站少，僅包含 PM₁₀、PM_{2.5}、風速、風向等。

2.3 研究方法

2.3.1 田野實際與訪問

2021 年 4 月正逢臺灣嚴重春旱，我們沿高屏溪考察，記錄河堤上高灘地的農耕型態、行水區內低灘地與沙洲，觀察土壤與沙粒的型態，還找到可以完整看到二重溪段河中沙洲的制高點——佛光山旁的臺灣天壇 (圖 3)。我們還搭乘火車從六塊厝站坐到九曲堂站，如此可以就近觀察乾季時河床與河道的真實狀態。此外，作者之一也在掃墓時拍到小規模揚塵 (圖 4)。

2.3.2 蒐集政府開放數據並且以 QGIS、Excel 繪圖分析

我們從環保署環境資料開放平台，以及高雄市與屏東縣環保局高屏溪揚塵資訊平台中，蒐集揚塵日每小時的風速、風向、PM₁₀ 等數值，以 Excel 做相關分析並畫出風花圖。並進一步配合測站點位座標，以 QGIS 繪製成揚塵發生時 PM₁₀ 濃度的等值線圖，以釐清風速、風向、測站與揚塵來源地之間的關係。



圖 3 從臺灣天壇俯瞰二重溪段的河道 (2021/04/02 實察拍攝)



圖 4 高屏溪河床小規模揚塵，掃描 QR-code 可觀賞影片 (2021/02/11 佛光山掃墓拍攝)

2.3.3 利用 MultiSpec 與 QGIS 進行衛星影像分析

本文使用 2018/01/01 福衛五號四張正射影像，以 QGIS 執行影像合併、流域向量圖層套疊後裁剪，再以 MultiSpec 以及 QGIS 外掛程式 Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) 進行非監督式與監督式分類，最後進行分析。

非監督式分類是利用電腦的數學演算的方式，將光譜性質相同的像元區塊分在同一類中。優點是電腦運算省時，但會出現像元光譜相近，但實際性質不同，卻被電腦分在同一類的問題，故分類結果較為不精確；監督式分類是以人工加上資訊分類，每一個判釋分類都需要一組訓練樣本，樣本來自於將已知的判釋區域劃定，獲取分類的影像資料，訓練電腦達到準確分類的成果。監督式較費時且麻煩，不過因為是人工判識加上電腦輔助分類，分類的結果較為精確。

然而，我們在訓練樣區的過程中遇到一些困擾。首先，若訓練時以福衛五號真實色影像，本研究區的魚塢、草地與水田會非常相似，難以用肉眼判釋，故我們先將波段改成假色圖，即紅光 Band1 以近紅外光 Band4 取代，綠光 Band2 以紅光 Band1 取代，藍光 Band3 以綠光 Band2 取代之後，水田會呈現紅色長條形區塊，草地則是鄰近河道的淺紅色不規則地塊，而魚塢呈現灰綠色的方形區塊，雙視窗對照假色圖訓練樣區，就很容易區分三者了 (圖 5)。

此外，圖 6 中福衛五號的左方影像解析度明顯較右方差，原因是屏東平原有許多軍營與機場，基於國安緣故，軍事用地的衛星影像都做了模糊化處理，增加影像訓練上的困擾，也可能影響到分類時的判釋。例如經過 MultiSpec 訓練後，電腦竟然在飛機跑道上分出沙洲，誤差甚大。

綜上所述，本文具體研究流程如圖 7。

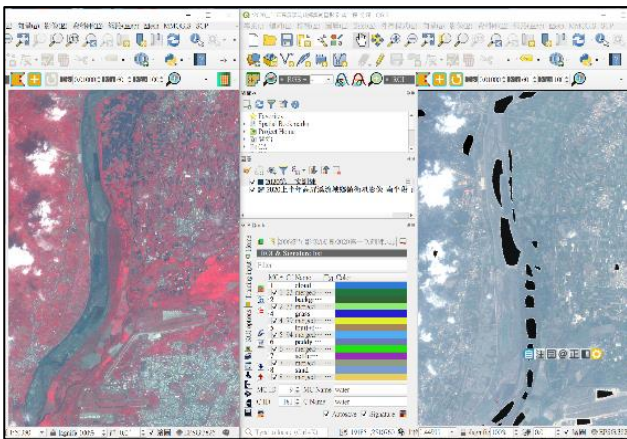


圖 5 對照著假色圖 (左) 進行 SCP 樣區訓練 (右)

3. 研究分析與結果

3.1 河川揚塵災害

河床上及河道兩岸堆積的塵土，在強風吹襲下產生揚塵，鄰近河床的監測地點容易出現高濃度懸浮微粒，隨著強風擴散進而影響空氣品質。除了河川區域範圍以外，揚塵也可能來自出海口的海灘地或其他裸露地。

3.1.1 揚塵災害指標

監測揚塵災害的最重要指標為 PM_{10} 。 PM_{10} 是指粒徑在 10 微米以下的顆粒物，單位是 $\mu g/m^3$ ，來源包含河川揚塵、車輛排放廢氣、工業污染、營建施工、露天燃燒、境外污染等。人體可將其直接吸入呼吸道，但部分可透過痰液排出與鼻腔內絨毛阻擋等方式，減輕對人體的危害。與可以到達肺部、粒徑在 2.5 微米以下的 $PM_{2.5}$ 相比， PM_{10} 對人體健康危害相對較小，但長期累積可能引起咳嗽、慢性支氣管炎等呼吸系統疾病。由表 2 中可看出不同 PM_{10} 濃度對人體的影響。



圖 6 空軍基地 (左) 與都市 (右) 影像解析度差異造成監督式分類訓練上的困難(2018/01/01 福衛五號影像放大圖)

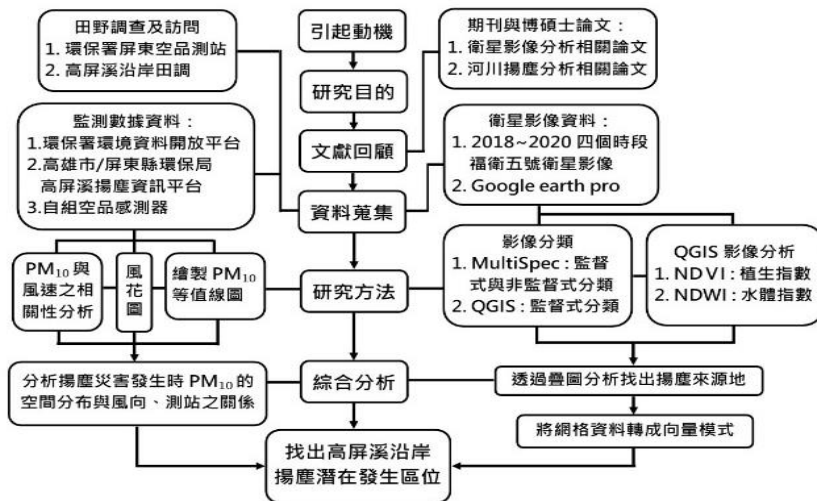


圖 7 研究流程圖

表 2 空氣品質狀況與 AQI 指標、PM₁₀ 對照

空氣品質狀況	AQI 指標	PM ₁₀ (μg/m ³) 24 小時平均值
良好	0-50	0-54
普通	51-100	55-125
對敏感族群不健康	101-150	126-254
對所有族群不健康	151-200	255-354
非常不健康	201-300	355-424
危害	301-400	425-504
危害	401-500	505-604

註 1：環保署整合當日該測站 PM₁₀、PM_{2.5}、CO、O₃、SO₂ 及 NO₂ 等污染物濃度，綜合換算出空氣品質指標值 (AQI) (行政院環境保護署，2021a)

3.1.2 高屏溪揚塵災害

臺灣西部乾雨季節變化迥異，河川洪枯差異極大。每年 11 月起降雨日數少，強烈的東北季風易將裸露河床的粉塵揚起，下風處空氣品質差，故臺灣多數河川揚塵好發於乾季，冬季 PM₁₀ 易出現高濃度值。2009 年莫拉克風災帶來近億噸土石自山區沖刷至中下游堆積，使得河床裸露沙地面積大增，加重了揚塵發生機率。臺灣河川揚塵災害最嚴重的地區是濁水河流域，每年揚塵事件日數遠勝其他河川之總和，雲林縣崙背空品測站於 2009 年 11 月 2 日曾測得臺灣 PM₁₀ 歷史最高紀錄 2532 μg/m³。

與臺灣其他河川不同的是，高屏溪主流由北向南流，6~10 月受季風或颱風外圍環流的影響，強烈的偏南風易沿河床揚起沙塵，資料測站在短時間內懸浮微粒濃度會快速增加，隨著陣風減弱，濃度才跟著下降。自 2012 統計起始年開始，逐月來看，高屏溪河川揚塵事件以 7 月最多，6 月居次 (圖 8)，逐年來看以 2017 年最多 (圖 9)。11 月~4 月乾季時，河床疏濬工程全面展開，揚塵主要來自疏濬作業與砂石場，揚塵規模縮小，但高屏河流域處於東北季風背風側，隨季風南下的污染物堆積於高屏平原，研究區測站的月平均 PM₁₀ 數值反較夏半年高。

3.1.3 河川揚塵預警與通報系統

發生揚塵事件時 PM₁₀ 濃度必定快速增加，然而 PM₁₀ 濃度高，不必然發生揚塵事件，也可能是大

氣擴散條件不佳，或是其他汙染物導致。換言之，是否發生揚塵的另一個具體指標是風速。高雄市與屏東縣政府在高屏河流域揚塵預警與通報採取一致標準，若前一日氣象局預報隔日達四級風 (5.5~7.9m/s) 以上，風向為南風至西南風，預報人員即於 16:30 發布揚塵預警。

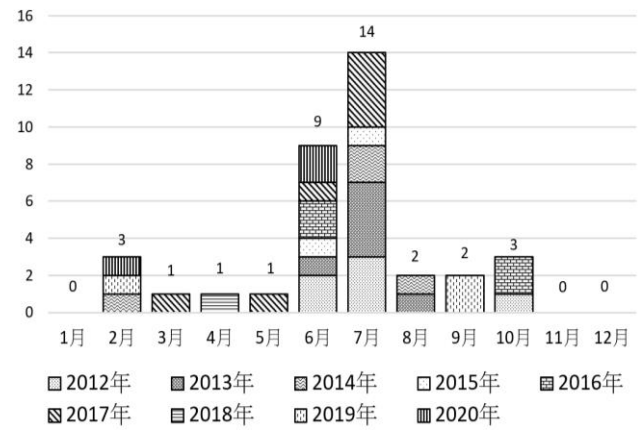


圖 8 高屏溪河川揚塵逐月統計圖

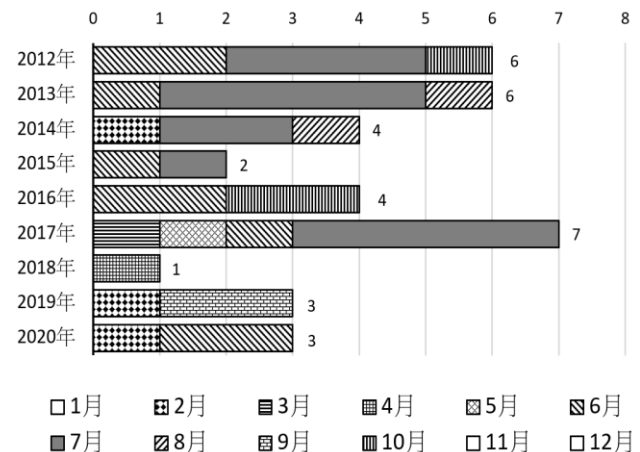


圖 9 高屏溪河川揚塵事件逐年統計圖

資料來源：水利署 e 河川知識服務網-河川揚塵 <https://is.gd/nQAiQE>，本研究以 Excel 統計繪製

我們根據屏東縣與高雄市環保局的河川揚塵預警系統，找出高屏河流域從民國 2012~2020 年共 39 次揚塵預警，但實際成立的有 36 次揚塵事件 (圖 9)。揚塵通報部分，若發生當下，PM₁₀ 小時濃度值超過 150μg/m³，會進行初級通報，告知環保局與水資源局等公部門；超過 355μg/m³ 時進行中級通報，並通知下風處的里長與學校進行因應措施；連續 2 小時超過 1050μg/m³ 時則會進行緊急通報 (表 3)。

表 3 高屏溪河川揚塵預警及通報標準條件

層級	前一日預警	初級	中級	緊急
預警標準	氣象局預報隔日達四級風以上(5.5-7.9m/s) 風向屬南風至西南風	PM ₁₀ 小時濃度值超過 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM _{2.5-10} /PM ₁₀ >0.7	PM ₁₀ 小時濃度值超過 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM _{2.5-10} /PM ₁₀ >0.7	PM ₁₀ 小時濃度值連續 2 小時超過 1050 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM _{2.5-10} /PM ₁₀ >0.7
通報條件	高雄市環保局、屏東縣環保局、第七河川局、南區水資源局、局內空污計畫			
	確認下風處受體，通報區里、鄉鎮村與學校			縣市府各局處單位、區鄉鎮市公所

資料來源：高雄市懸浮微粒物質災害潛勢資料 (行政院環境保護署，2021b)

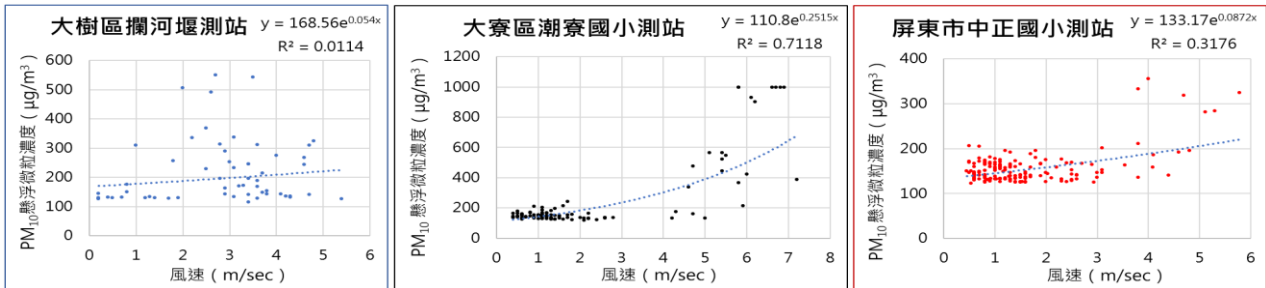


圖 10 自資料起始年至 2020 年三個測站揚塵事件風速與 PM₁₀ 濃度散佈圖

資料來源：行政院環境保護署，2021c，本研究整理後以 Excel 計算分析

3.2 高屏溪河川揚塵災害個案分析

3.2.1 揚塵的氣象條件相關性分析

揚塵事件發生時，在強陣風的吹拂下，PM₁₀ 濃度會快速上升，本文一開始進行的前提假設是，單一測站揚塵發生時 PM₁₀ 濃度的上升應該與風速呈現高度相關。故本文以研究區內的三個測站為例，擷取資料起始年至 2020 年 PM₁₀ 濃度大於 126 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (對敏感族群不健康)的時段，將其風速與 PM₁₀ 繪製散佈圖，並加上指數方程式趨勢線與 R² 判定係數。

圖 10 所示，大寮測站判定係數為 0.7118，顯示大寮測站 PM₁₀ 濃度大於 126 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，風速的高低能夠解釋 71% 的懸浮微粒濃度變化。但除了大寮測站外，其餘 R² 均低於 0.4，可見揚塵發生時 PM₁₀ 懸浮微粒濃度還受到其他因素的影響。

有學者指出，揚塵所需的風速的起始值約 5m/s，超過 6m/s 之後，揚塵量與風速呈現正相關，但是當風速超過某一上限，則又呈現負相關 (蔡春進，1999)。我們認為，各河川裸露地土砂的物理性質不同，揚塵起始值並不能同一而論，而本文重點也不在研究起始風速值或土砂性質。我們從 2018 年的揚塵事件中發現，大寮測站 PM₁₀ 在 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上

的時候，的確是刮著 5m/s 以上的強風，但是攔河堰測站 PM₁₀ 達 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上時風速僅 1~3m/s？該場揚塵發生時屏東吹著 5m/s 以上強風，但 PM₁₀ 卻未超過 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ？此外，我們發現，吹強風時有些測站 PM₁₀ 濃度快速飆升，有些還在正常值之下；而沒有吹強風的地方，PM₁₀ 卻不斷飆高？換言之，研究揚塵還必須考慮到風向、測站與裸露地的相對位置。

故本文以下採取揚塵預警標準的四級以上的風速，也就是出現實際風速超過 5.5m/s，且 PM₁₀ 超過非常不健康等級，達中級通報標準的 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，定義為高屏溪揚塵災害，以此標準檢視 2012~2020 年各測站的揚塵事件，並且挑出 2012 年夏季、2018 年春季、2019 年冬季三場揚塵災害來分析說明。(詳細數據請見附錄)

3.2.2 單場揚塵災害分析-2012 年 7 月 6 日(夏季)

(1)南段：該日大寮與林園測站多吹南風與南南西風。大寮測站在 9~10 時，風速由 1.3m/s 急升到 4.1m/s，PM₁₀ 在 13 時上升到 513 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，並在 16 時到達最高峰 588 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，直到 18 時才降回正常值。而林園測站整天風速都偏強，自清晨 2 時颳起 5.8m/s 強風，之後風速都維持在 3.0m/s 上下，到了 10 時又開始吹起 5.0m/s 以上的強風，甚至在

14 時到達了 7.3m/s 的強風，然而 PM₁₀ 最高卻僅有 232μg/m³ (圖 11)。

(2)北段：美濃站整日吹不定風向且不強的風，9~12 時儀器故障，15 時開始轉吹南南西風，風速達 4.4m/s，17 時 PM₁₀ 飆升高達 332μg/m³，但此時大寮測站已快降回到標準值 (圖 12)。

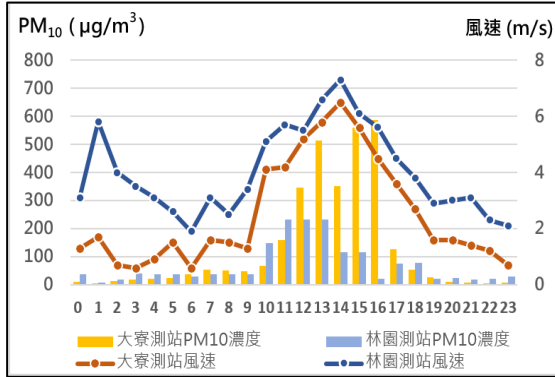


圖 11 大寮與林園測站 2012/07/06 揚塵日風速與 PM₁₀ 關係圖

資料來源：行政院環境保護署，2021c，作者以 Excel 繪製

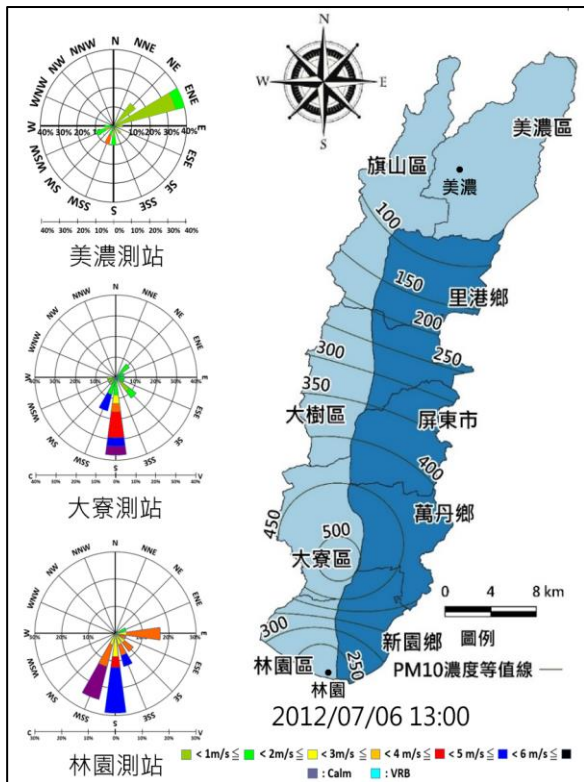


圖 12 2012 年 7 月 6 日 13:00 高屏溪 PM₁₀ 等值線圖與該日測站風花圖

資料來源：行政院環境保護署，2021c 之林園、大寮、屏東、美濃測站。2012 年其他測站尚未成立。屏東測站在此事件之前無 PM₁₀ 記錄，該揚塵事件發生後即開始有記錄

從圖 11 可看出，林園測站整天風速都遠高於大寮測站，但林園測站靠海，自海上帶來的南風不會產生揚塵，反而是大寮測站測到高濃度的 PM₁₀。換言之，我們認為 2012 年林園測站~大寮測站之間應該有大面積的河床沙洲或河岸裸露地，產生的揚塵受到偏南風的輸送，因此造成大寮測站附近受到嚴重的揚塵危害。

3.2.3 單場揚塵災害分析-2018 年 4 月 23 日(春季)

四月間高屏溪水位達到最低，河道沙洲與河岸裸露地面積最大，此時亦為季風轉換期，該日多數測站盛行南風與南南西風 (圖 13)。

(1)南段：該日 9 時吹起強風，大寮測站風速高於 4.5m/s 持續 7 小時，PM₁₀ 於 11 時高達 565μg/m³，PM₁₀ 超過 355μg/m³ 對人體非常不健康長達 5 個小時，直到 17 時才降回正常值。然而，同樣位在下游的林園測站，大於 4.5m/s 的風持續 8 個小時，甚至還出現 6.3m/s 的強風，萬丹測站高於 4.5m/s 的強風也吹了 6 個小時，但兩地 PM₁₀ 卻整天都在正常範圍內，原因是林園南側是海，萬丹測站的南邊是農地，當天南風與南南西風將林園與大寮測站間的河道沙洲與河岸裸露地的揚塵向北輸送，導致大寮測站受到嚴重的揚塵危害。

(2)中段：以攔河堰測站附近災情較嚴重。奇怪的是，攔河堰整天風速均未超過 3.5m/s，但 PM₁₀ 超過 355μg/m³ 長達 5 個小時，15 時還達到 549μg/m³ 的高峰，鄰近的大樹國中當日吹 4.5m/s 以上強風達 5 個小時，但 PM₁₀ 數據卻正常。根據媒體照片，屏東市以西的河床有嚴重的揚塵災害，而大樹國中與攔河堰均吹南風且鄰近河岸，理應都受到影響，故我們懷疑大樹國中儀器數據有問題 (附錄)。幸而人口密度較高的屏東市距河岸較遠，災害較輕 (圖 13)，屏東測站在 13 時後轉吹南南西風，PM₁₀ 才明顯上升，並於 17 時達到最高峰 356μg/m³，組員中有人仍對當日放學時，襯著斜陽滿天金色沙塵的景象記憶猶新。

(3)北段：里港土庫、玉田與大樹佛陀測站整天都沒有吹強陣風，土庫的 PM₁₀ 卻超過 400μg/m³，受

媒體採訪的里港人表示看不到高屏溪對岸。美濃在 12 時開始吹起強風，揚起流域北部的沙塵，加上美濃西北方、北方與東北方有山脈阻擋，成為類似盆地的屏障，使得美濃測站於 15 時 PM₁₀ 高達 611 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為本場揚塵災害測得的最高值。

總論該場揚塵災害，高屏溪流域南段以大寮測站 11-12 時、中段以攔河堰測站 14-15 時、北段以美濃測站 15-16 時 PM₁₀ 達最高，從三地峰值的時間差，也可看出揚塵沿河向北輸送的特性。

3.2.4 單場揚塵災害分析-2019 年 2 月 18 日(冬季)

雖然發生在冬季，但這場揚塵災害依舊是偏南風帶來的，該日主要風向為南風與南南西風。

(1)南段：當日 11 時吹起強風，林園與大寮測站小時風速值最高到 4.4m/s 與 6.7m/s，但即使兩測站吹了超過 8 小時的強風，當日 PM₁₀ 卻大致正常，與 2018 年 4 月狀況大不相同 (圖 14)。

(2)中段：大樹國中測站自 10 時起儀器故障。攔河堰測站約 13 時開始起風，PM₁₀ 濃度開始增加，

風速 18 時升至 5m/s，PM₁₀ 在 19 時達到最高值 519 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超過 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 長達 6 小時。

(3)北段：佛陀和玉田測站全日風速均未超過 3m/s，但 PM₁₀ 卻達 227 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示南風有將河流中段的揚塵往北輸送。但跨過二重溪的土庫卻無風亦無沙。更北的美濃 12 時起風，15 時風速達 5.7m/s，15~16 時 PM₁₀ 超過 355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，這些沙又從哪裡來？

換言之，2019/02/18 的揚塵以大樹地區與美濃地區最嚴重，屬於局部性的揚塵災害。

綜合來說，迎向測站的強風加上足夠沙塵量的輸送，測站才偵測得到。我們利用等值線圖呈現揚塵災害嚴重程度的空間分布差異，發現強勁的偏南風是高屏溪揚塵災害的幫兇。但是，高屏溪這些沙塵究竟從哪裡來？一樣是吹偏南風，一樣風速超過 6m/s，為什麼 2012 年、2018 年在大寮造成嚴重的揚塵災害，2019 年卻沒有？我們希望能透過衛星影像來找到沙塵的來源地，分析土地利用與裸露地的變化。

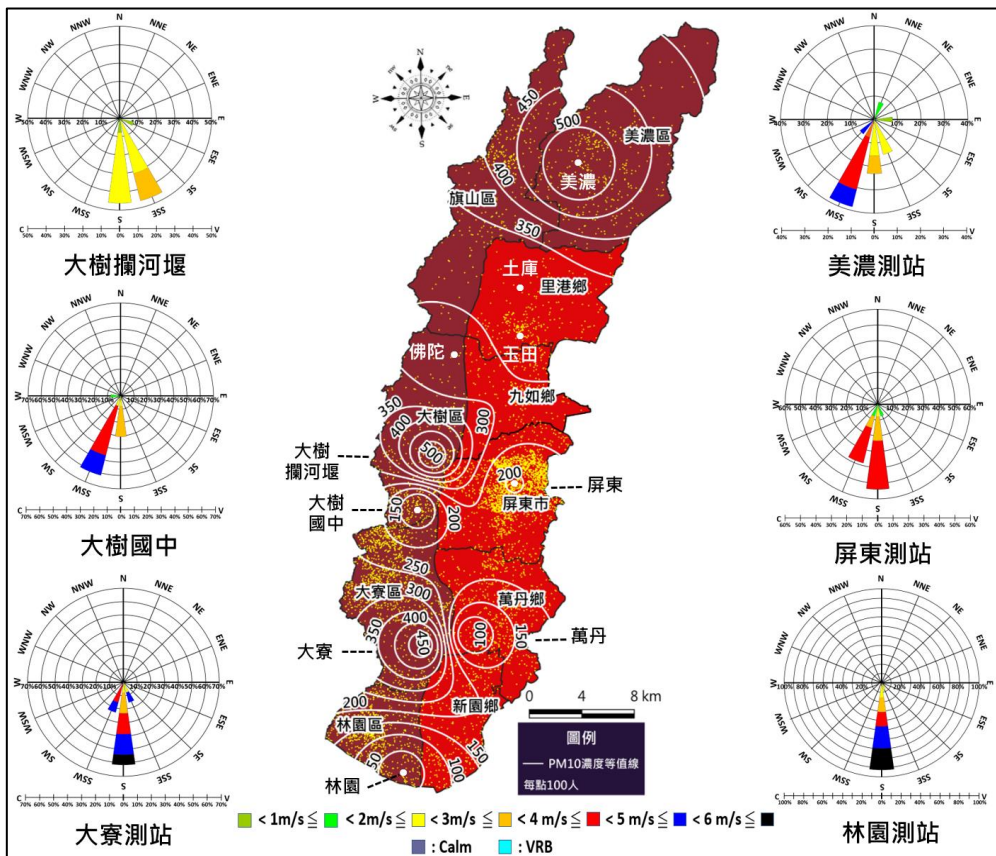


圖 13 2018 年 4 月 23 日 14:00 高屏溪 PM₁₀ 等值線圖與該日測站風花圖

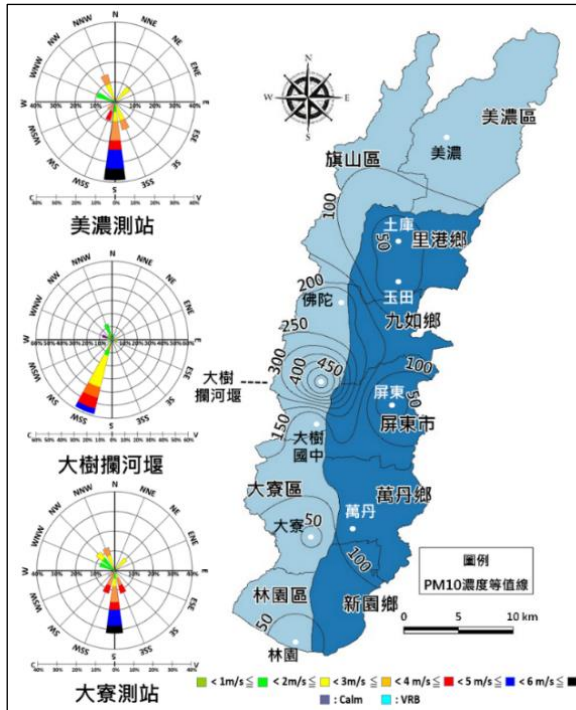


圖 14 2019 年 2 月 18 日 19:00 高屏溪 PM₁₀ 等值線圖與該日測站風花圖

3.3 以衛星影像分析揚塵發生區位

3.3.1 非監督式與監督式影像分類

本文使用 MultiSpec 非監督式與監督式分類，以及 QGIS-SCP 外掛程式進行監督式分類，對 2018/01/01 福衛五號拼接裁剪後的正射影像，進行訓練與分類。受篇幅限制，本文省略操作步驟說明，以下僅呈現最佳分類結果與優缺點比較分析 (表 4)。

在嘗試三種影像分類技術後，我們大致了解研究區內部土地利用分布，除了河道沙洲為揚塵來源外，另一個引起我們好奇的是位於里港鄉、旗山區與美濃區交界處的廣大的台糖農場 (表 4(c) 黃圈處)，為什麼在 2018 年 1 月衛星影像圖上呈現大片的裸露地？現在到底做什麼使用？我們嘗試利用 NDVI 與 NDWI 指數來做跨年度分析，以釐清土地利用的變遷。

3.3.2 利用 2018-2020 年福衛五號影像分析研究區土地利用變遷

差異化植生指數 (NDVI) 旨在區分植生與非植生的差異，公式為 $NIR-R / NIR+R$ ，套用在福衛

五號影像上也就是 $Band4-Band1 / Band 4+Band1$ 。健康葉子 NDVI 接近 1，土壤、岩石 NDVI 接近 0，水體 NDVI 接近 -1；差異化水體指數 (NDWI) 則在區分水體與其他土地利用，計算公式為 $G-NIR / G+NIR$ ，也就是 $Band2-Band4 / Band2+Band4$ 。乾淨水體 NDWI 較高，含有泥沙雜質水體 NDWI 較低。

為了比較研究區沙洲與裸露地的狀況以追查揚塵來源，我們將 2018/10/04、2019/12/16 與 2020/02/20 三個時間的福衛五號影像，分成北、中、南三段分別繪製成 NDVI 圖，再利用 QGIS 的 merge 功能分別將各分段三張 NDVI 的 tif 檔依年份順序置於 Band1~3 三個波段，也剛好符合南部地區秋→冬→春的季節輪序，呈現土地利用季節變化，成圖後各種地塊顏色說明如表 5。

(1)北段：里嶺大橋以上游段

從圖 15 可知，旗山溪與楠梓仙溪西側為森林與果樹，植被覆蓋穩定，呈現偏白色；主河道與河道沙洲由於未有植生，A、B、C 三個時間點數值均低，呈現黑色；二重溪與荖濃溪北岸有許多黑色不規則地塊為砂石場，規則黑色矩形則為魚塭或建地。部分河道沙洲呈現藍綠色甚至偏白，表示該處沙洲草地有愈茂密的趨勢。

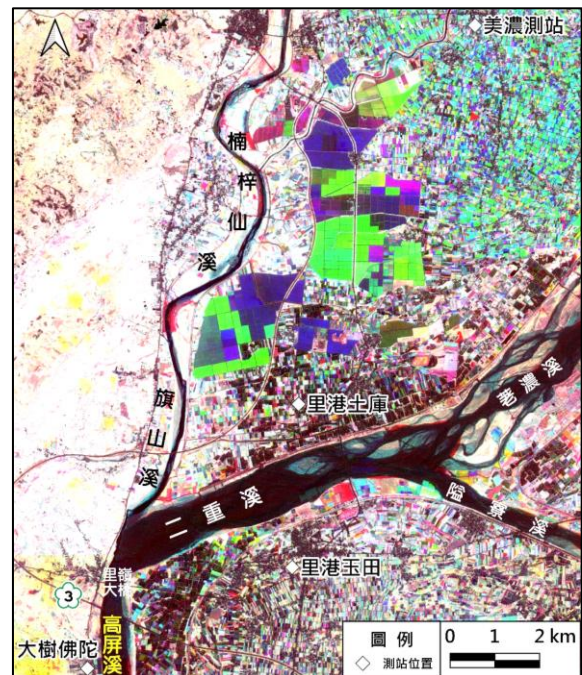


圖 15 研究區北部 2018-2020 年 NDVI 比較
資料來源：2018-2020 年福衛五號影像，本研究以 QGIS3.10 繪製

研究區北部的台糖農場，為臺灣重要外銷毛豆產地 (圖 16)。本區毛豆從播種到採收約 60~70 天。秋植毛豆 (以下簡稱秋豆) 約 10 月底種植，12 月底~1 月初採收；春植毛豆 (以下簡稱春豆) 約 2 月中種植，4 月中~底採收。根據田調，2019 年之前的春豆採收後，少數地塊承租人栽培西瓜，其他土地則為閒置地。






圖 16 台糖手巾寮農場的毛豆田 (2021/04/02 實察拍攝)

圖 17 中台糖多數地塊呈亮綠色，代表 Band2-B 時段數值偏高，2019/12/16 秋豆正茂密，其餘 Band1-A、Band3-C 兩時段為裸露地。換言之，除了種植兩期毛豆外，1 月初到 2 月中、4 月底到 10 月底之間，農場有許多地塊都是裸露地 (圖 17)。這也解釋了土庫明明比美濃距離二重溪來得近，但在 2018/04/23 揚塵事件中，美濃 PM₁₀ 卻比土庫來得高，因為揚塵不是只有來自河道沙洲，我們推論收割完春豆的裸露農地也是揚塵來源地之一，這點也在訪問中得到證實。更值得注意的是，農場中有黑色區塊，代表三個取像時間植被覆蓋率都很低，在南部地區，若秋→冬→春均無耕作，代表該農地可能持續處於閒置狀態。

表 4 2018/01/01 研究區福衛五號正射影像分類後的分析與討論

(a) MultiSpec 非監督式分類	(b) MultiSpec 監督式分類	(c) QGIS-SCP 監督式分類
分十類	分七類 (包含訓練黑幕背景)	分八類
<ol style="list-style-type: none"> 1. 速度快，省麻煩，原則上分較多類土地利用判讀會較清楚，但整體而言都不夠精確。 2. 無法區分河道主流與沙洲，不符合我們最重要的研究目的。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分多類不會比較好。為了讓主要目標(如沙洲)判讀更清楚，部分真實色與光譜接近的土地利用(如水田、河流、魚塢)可合併訓練。但仍會出現不少「雜訊」物質干擾。 2. 分類不佳需要全部重頭訓練，較為費時。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分類效果最佳，主河道與沙地、旱田可清楚區分。 2. 可回編輯畫面重新加強特定分類訓練，重新出圖。 3. 可將網格轉成向量模式，方便後續疊圖分析，故本文後續小範圍分析採用此法。

表 5 2018-2020 年研究區 NDVI 前後期比較

波段	F5 取像時間	除了果樹與檳榔外地表主要農作	成色說明
Band1 紅光 	A : 2018/10/04	1.南部二期稻正茂密，但尚未收割 2.秋耕毛豆尚未種植，農場裸地多	A 數值高，B、C 低： 偏紅
			B 數值高，A、C 低： 偏綠
			C 數值高，A、B 低： 偏藍
Band2 綠光 	B : 2019/12/16	1.南部一般農地進入冬季裡作 2.秋耕毛豆生長正旺盛	A、B 數值高，C 低： 偏黃
			B、C 數值高，A 低： 偏青
			A、C 數值高：B 低： 洋紅
Band3 藍光 	C : 2020/02/20 或 2020/03/21	1.南部一期稻已插秧，幼苗階段 2.2/20 春耕毛豆尚未種或剛種	A、B、C 數值均高： 偏白
			A、B、C 數值均低： 偏黑

資料來源：本研究分類整理，色塊繪製參照標準色碼表



圖 17 台糖農場 8-10 月裸露情況 (2017/08/17 Google earth pro)

不過，我們沒辦法從 NDVI 圖看到沙洲的分布狀況，因此我們繼續做 NDWI 三年的比較圖後發現 (圖 18)，二重溪河道範圍雖寬，但主河道 (亮白色) 卻很窄。荖濃溪注入二重溪處呈網流狀，河道沙洲 (粉紅色) 面積亦廣，這點也在實察過程中證實 (圖 3)。換言之，二重溪與荖濃溪大面積裸露的河道沙洲，其乾季疏浚挖取的砂石，不只供應河流北岸砂石場的原料，也成為里港土庫與美濃地區揚塵的重要來源。

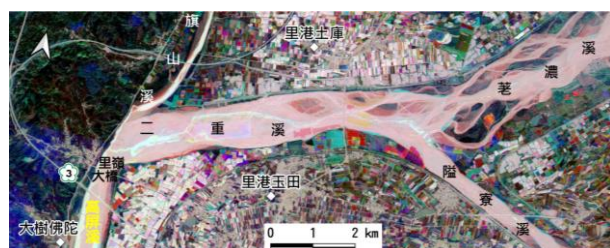
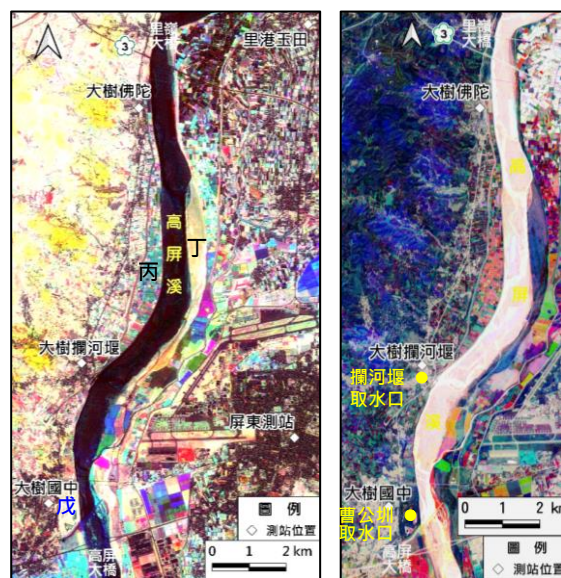


圖 18 研究區北部 2018-2020 年 NDWI 比較
資料來源：2018-2020 年福衛五號影像，本研究以 QGIS3.10 繪製

(2)中段：里嶺大橋到高屏大橋

圖 19(a) 的 NDVI 比較圖中，里嶺大橋東南的黑色規則矩形為魚塢，其餘的沿高屏溪兩岸黑色區塊多為聚落。丙區為堤防外小農承租的農地，多搭設網室栽培蔬菜瓜果，東側的高灘地丁區，已逐漸形成穩定的草生地。戊區的舊鐵橋溼地公園本來在 2009 年莫拉克颱風時遭到大量泥沙掩埋，沿岸的大樹鄉過去飽受揚塵災害，近年來植被復育有成，揚塵明顯減少 (圖 20)。

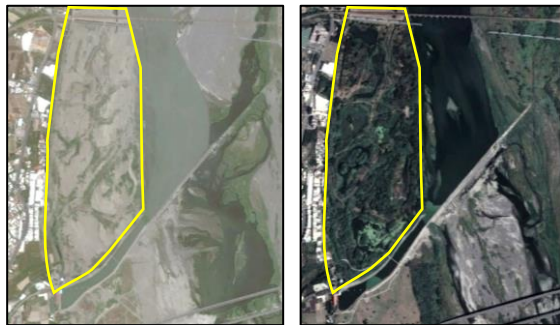


(a) NDVI 比較 (b) NDWI 比較

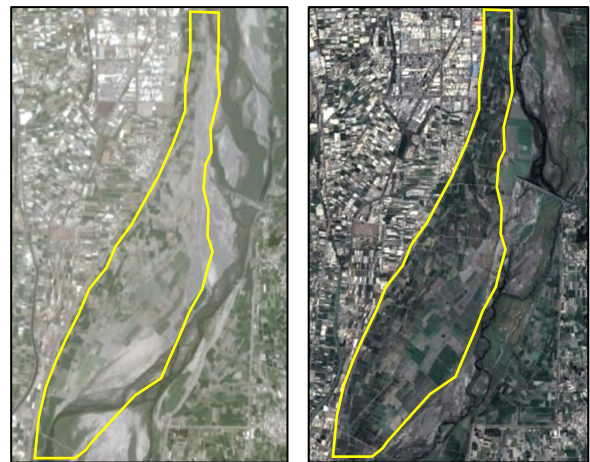
圖 19 研究區中部 2018-2020 年 NDVI 與 NDWI 圖
資料來源：2018-2020 年福衛五號影像，本研究以 QGIS3.10 繪製

圖 19(b) 的 NDWI 比較圖中，清楚看見高屏溪乾季時主流水量不豐，加上本段有大樹攔河堰與曹公圳兩個引水廊道，使得高屏溪中下游水量更少，

細長主流在寬廣的河床上東西擺盪，殘留諾大的河道沙洲，亮白長矩形為抑制揚塵而挖掘的水域。



(a) 2010/04/09 (b) 2021/02/26
圖 20 舊鐵橋溼地公園八八風災後的變化
資料來源：Google earth pro



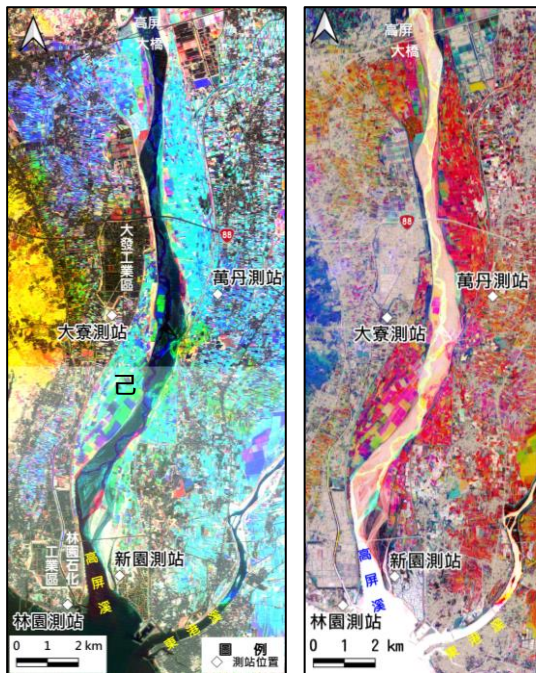
(a) 2010/04/09 (b) 2021/02/26
圖 22 大寮高灘地八八風災至今變化
資料來源：Google earth pro

(3)南段：高屏大橋以南

高屏大橋以南到出口之間，在 2009 年莫拉克風災後，圖 21(a) NDVI 之己區高灘地嚴重毀損，成為揚塵的主要來源 (圖 22)。強勁南風起，大寮測站數值即飆高，前述 2012/07/02 揚塵事件可為證。近年居民承租己區高灘地種植水稻或蔬菜、豆類，圖 21(a) 呈現藍、青為多，代表冬季裡作與一期稻普遍。低灘地與沙洲近來草地亦增加，有漸趨穩定之趨勢 (圖 23)。



圖 23 林園工業區堤防內的低灘地與沙洲已經長出草來，高灘地當時種植一期稻作 (2021/04/02 地理實察拍攝)



(a) NDVI 比較 (b) NDWI 比較

圖 21 研究區南部 2018-2020 年 NDVI 與 NDWI
資料來源：2018-2020 年福衛五號影像，本研究以 QGIS3.10 繪製

3.4 揚塵潛在危害區疊圖分析

最後，我們將研究區 2018~2020 三年共四個時間段的福衛五號影像分開訓練，並在 QGIS-SCP 進行分類的同時將網格 (Raster) 模式轉成向量 (Vector) 模式。我們挑出可能為揚塵來源的沙地與裸露旱田，且面積大於 100 pixels (1600m²) 田地進行疊圖分析，如圖 24 所示。圖中黃色越厚重，代表該沙地持續較久的時間；紅色越厚重，表示該農地較常處於裸露狀態，可能為閒置農地；橘色則表示該農地有時被電腦判定為裸露旱田、有時被判定為沙地，推測可能是取像時處於田地剛翻土犁好的階段，因光線反射偏白，故電腦誤判為沙地。令我們感到訝異的是，美濃鎮諸多良田當中，有不少私人農地也是呈現深紅色裸露旱田的狀態，亦即閒置時間長，這也反映了臺灣農家人口老化，農地閒置請領休耕補助已是常態。

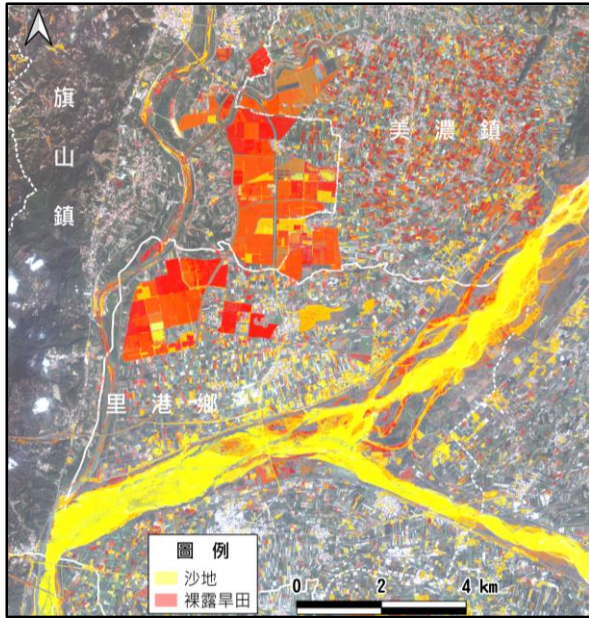


圖 24 研究區北部的沙地與裸露旱田
資料來源：本研究以 2018~2020 三年的福衛五號影像進行 QGIS-SCP 監督式分類，轉成向量模式再進行疊圖分析

4. 研究結論與建議

4.1 綜合分析高屏溪流域揚塵潛在發生區位

綜上所述，我們發現以下幾種地塊可能是高屏溪揚塵的潛在發生區位：(1)裸露的河道沙洲；(2)河岸的砂石場；(3)正值休耕期且尚未灌溉的農地；(4)閒置且裸露的高灘地與農地；(5)草生植被尚未穩定的低灘地。

據此，我們透過 2018-2020 年福衛五號影像的 NDWI 判定高屏溪流域河道沙洲的範圍，透過 NDVI 挑出休耕期的旱田、裸露的高灘地與草生未穩定的低灘地，並以 QGIS-SCP 監督式分類後的裸露旱田與沙地的 Vector 檔，對照 Google earth pro 較高解析度的衛星影像，手動調整修正電腦分類錯誤的部分，再描出砂石場的向量圖層，最後繪製成圖 25 高屏溪流域揚塵潛在發生區圖。

在盛行南風的狀況下，臨海的林園與新園測站不會受到揚塵的影響。2012/07/06 與 2018/04/23 兩次揚塵事件，大寮測站 PM₁₀ 的高濃度揚塵是來自於 F 段的沙洲與裸露地，並持續向北輸送到大樹國中

中、攔河堰與屏東測站，特別是攔河堰測站，正迎南風之要衝。2019/02/18 的揚塵事件，由於 F 區高灘地上已多冬季裡作與一期稻，即使河口南風強烈，大寮測站亦無沙塵危害。

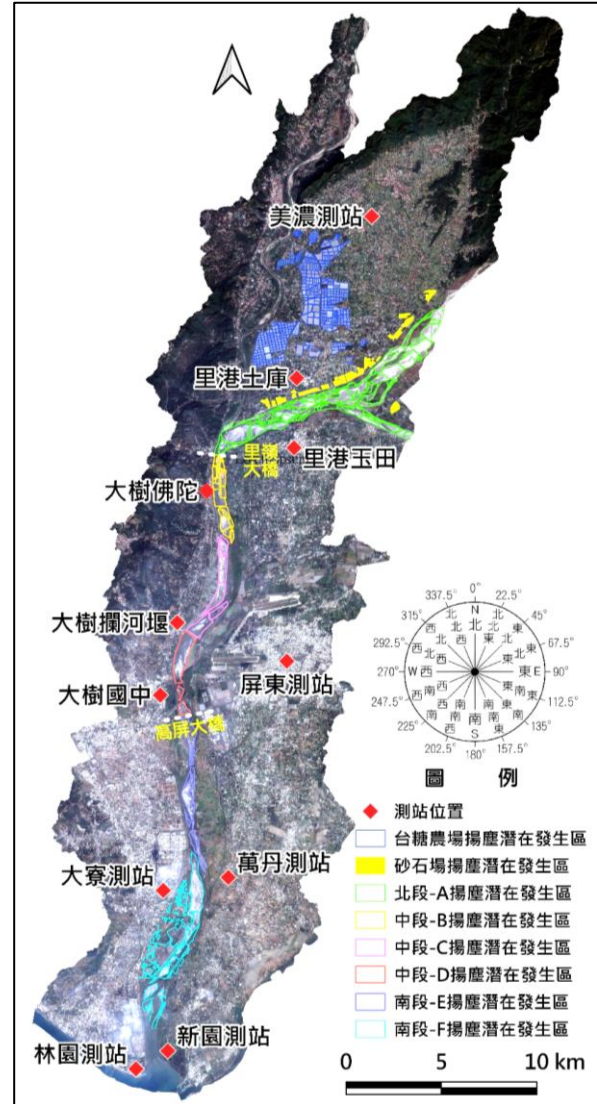


圖 25 高屏溪流域揚塵潛在發生區
資料來源：底圖為福衛五號影像拼接，本研究以 QGIS3.10 繪製

曾在莫拉克風災時覆滿泥沙的 C、D、E 三段，如今低灘地草生植物愈來愈茂密，高灘地也有穩定的承租農作，甚至蓋起網室，僅剩河道沙洲為可能的揚塵來源，汛期沙洲含水量高，高屏溪中段揚塵的威脅大幅降低。

研究區中揚塵潛在發生機率最大的是高屏溪北段，包括二重溪的 A 段以及佛陀紀念館前的 B 段，該兩段河道開闊、無論乾雨季河道沙洲均大面積裸

露，南風揚起，里港土庫與美濃地區受害甚深。幸而 2018 年起水利署積極在河道沙洲上實施水域挖掘、稻草覆蓋與 UAV 噴灑草籽等揚塵抑制工法 (圖 26)，執行面積一年比一年大，從前面的圖 9 我們發現 2018-2020 全年揚塵事件數均有顯著下降，可見成效顯著。

透過疊圖分析與實察結果，我們認為揚塵不僅來自於河川揚塵，大面積休耕且無灌溉的農地遇到強風，也可能揚起可觀的沙塵量，造成風蝕土壤損失。2018/04/23 揚塵事件中，美濃測站較里港土庫 PM_{10} 數值高出甚多可以為證，田調時手巾寮農場旁的吉洋聚落居民受訪時也有提及。幸而，我們從田調中得知，2020 年以來台糖農場在 4 月底春豆收成

後，規劃種植飼料作物青割玉米 (圖 27)，約 90 天可收成，即 7 月底到 8 月初採收，此舉可大幅減少高屏流域揚塵好發期 6-7 月的裸露地面積，應可具體改善美濃地區的揚塵災害。

最無解的揚塵來源應該是砂石場 (圖 28)，這也是里港土庫居民最深刻的痛。平日載運營建配級砂石與乾季清淤的砂石車進出，揚起的局部沙塵不見得土庫國小的空品系統偵測得到，但實察中的我們卻能感同身受，尾隨在砂石車之後，汽車外觀慘不忍睹，更遑論二重溪與荖濃溪堤防外堆積連綿且無覆蓋的砂石小山，如遇強風，土庫地區必是漫天灰沙，嚴重影響居民生活品質。



圖 26 二重溪河段的抑制揚塵工法

資料來源：上圖為 Google earth pro 2020/11/26；下圖為水利署第七河川局 (2021)



圖 27 台糖瀾力肚農場的夏作青稈玉米 (2021/04/27 實察拍攝)



圖 28 即將駛進二重溪旁砂石場的卡車，大部分卡車上方的黑網均無覆蓋 (2021/04/02 實察拍攝)

4.2 建議

我們發現高屏溪流域的官方空品點已經足夠，但在分析過程中經常發現關鍵時間點儀器爆表故障或資料疑似有問題的狀況，這是自動觀測設施不可避免的問題，因此我們建議，未來環保署可以在屏東平原北部的里港鄉與美濃鎮等揚塵潛在嚴重危害區，增設微型感測器物聯網，可根據風向與揚塵來源地做出更細緻地判斷，實施更有效的揚塵的抑制工法，或對砂石場制定更嚴格的法規並切實執行，才能更有效地解決高屏溪流域的揚塵問題。

4.3 後記與致謝

本研究參加 2021 年國家太空中心福衛五號衛星影像應用小論文競賽，並由國家太空中心授權衛星影像使用，特此申謝。

這篇研究是我們利用 108 新課綱高二的自主學習時間完成的，參加競賽並非唯一目標，探索自我潛能才是最終目的。為了實現自主學習的精神，我們花很多時間上國外網站自學 QGIS 的影像分類技術、摸索繪製風花圖與等值線圖，甚至自組空氣盒子，以 Webduino 編寫程式連結空品感測器，蒐集校內的 PM₁₀ 數據與附近的環保署屏東測站做比對，但整個冬季都沒有觀測到揚塵事件，加上蒐集資料的平板損毀，觀測計畫才告暫停。在研究的歷程中我們體悟到，善用時間與線上資源可以學習很多事。

臺灣的高中生做專題研究其實很幸福，我們所需的數據資料、圖資都是從官方網站下載而來。但在繪圖過程中遇到許多困難，例如監督式訓練時要花費大量時間點圖，最後卻當機或分類失敗。這也磨練了我們的抗壓性，找到問題的癥結點，改善流程重頭再來。QGIS-SCP 分類成功發出的三連單音，竟成了世界最美的樂曲。

最後要感謝一路走來幫助我們的人，生活科技李老師支援感測器與技術上的指導，地科鍾老師一語驚醒夢中人，讓我們突破迷津；中環公司工程師允許「愛對路」的我們勇闖空品測站，附加完整版解說；在我們寫不出風花圖 Excel 巨集時，網路求助 YouTuber 燒蝦，隨即寄給我們完整風花圖模板，

在此一併致謝。最後，最重要的是我們的指導老師，感謝老師在多元選修課為我們打下 QGIS 基本繪圖的根基，並帶著我們走上更高境界的衛星影像分析，還開車帶著我們實地考察，特別是沿著二重溪堤坊的路段，前後被砂石車夾擊，左右有砂石場矗立，我們真正體會到「揚塵」的危害。老師在我們身陷迷宮走不出來時，不斷鼓勵我們思考和嘗試，這些過程開展了我們的視野與思維，這才是最大的收穫。

參考文獻

- 水利署第七河川局，2021，中央與地方加強橫向聯繫共同攜手抑制河川揚塵，https://www.wra07.gov.tw/News_Content.aspx?n=12507&s=75399，引用 2021/02/01。[The 7th River Management Office, WRA, Central and local governments strengthen horizontal ties and work together to suppress Aeolian dust, Available at: https://www.wra07.gov.tw/News_Content.aspx?n=12507&s=75399，Accessed February 1, 2021. (in Chinese)]
- 行政院環境保護署，2021a，空氣品質監測網，<https://airtw.epa.gov.tw/CHT/Default.aspx>，引用 2021/02/01。[Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2021. Taiwan Air Quality Monitoring Network, Available at: <https://airtw.epa.gov.tw/CHT/Default.aspx>, Accessed February 1, 2021. (in Chinese)]
- 行政院環境保護署，2021b，環保署空氣品質改善維護資訊網—高雄市/屏東縣懸浮微粒物質災害潛勢資料，https://air.epa.gov.tw/EnvTopics/AirQuality_12.aspx，引用 2021/02/01。[Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2021, Air Quality Protection Web, Potential Information Files of Suspended Particulate Disaster in Kaohsiung City / Pingtung

- County, Available at: https://air.epa.gov.tw/EnvTopics/AirQuality_12.aspx, Accessed February 1, 2021. (in Chinese)]
- 行政院環境保護署, 2021c, 環境資料開放平台, <https://data.epa.gov.tw/>, 引用 2021/02/01。 [Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan), 2021. Taiwan EPA OpenData, Available at: <https://data.epa.gov.tw/>, Accessed February 1, 2021. (in Chinese)]
- 林文印, 2014, 河川揚塵對空氣品質影響預防評估計畫, 102 年度「環保署/國科會空汙防制科研合作計畫」期末報告, 國立臺北科技大學。 [Lin, W.Y., 2014. Preventive evaluation project for the air quality impact of aeolian dust, Result announcement of Environmental Protection Agency and National Science Council air pollution prevention and research cooperation project, National Taipei University of Technology. (in Chinese)]
- 林昭遠、莊智瑋, 2009。濁水溪揚塵潛在發生區劃定之研究, 中華水土保持學報, 40(3): 277-285。 [Lin, C.Y., and Chuang, C.W., 2009. Potential areas of Aeolian dust occurrence in the Zhuoshui River, Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 40(3): 277-285.(in Chinese)]
- 邱郁瑄、莊智瑋、林昭遠, 2011。以邊緣萃取技術探討濁水溪揚塵潛在發生區位劃定之研究, 中華水土保持學報, 42(2): 107-119。 [Chiu, Y.H., Chuang, C.W., and Lin, C.Y., 2011. Delineating Potential areas of aeolian dust occurrence with edge detection techniques in the Zhuoshui River, Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 42(2): 107-119. (in Chinese)]
- 蔡春進, 1999, 裸露地逸散性粒狀空氣污染物的控制技術研究, 國科會/環保署空汙費科技計畫成果報告, 國立交通大學環境工程研究所。 [Tsai, C.J., 1999. Research on the Control of Fugitive Particulate Air Pollutants from Exposed Surfaces, Result announcement of Environmental Protection Agency and National Science Council air pollution fee technology project. (in Chinese)]
- 盧俊中, 2017, 高屏溪河灘地風蝕揚塵對區域空氣中粒狀污染物影響之物化特徵分析、判定指標及污染來源探討, 國立中山大學環境工程研究所博士論文。 [Lu, C.C., 2017. Influences of aeolian dust emitted from bare lands in Kaoping River on regional ambient particulates and their physiochemical characteristics, indicators and source appointments, PhD Thesis, National National Sun Yat-sen University, Taiwan, ROC.]

附錄

三場揚塵事件的原始數據

1. 2012年7月6日

測站名稱	項目	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時
美濃鎮 中壇國小	pm10	nan	nan	nan	nan	59	71	114	321	332	137	88
	風速	nan	nan	nan	x	1.3	1.2	4.4	2.7	0.6	1.2	1.3
	風向	nan	nan	nan	x	278	299	203	206	319	79	77
屏東市 中正國小	pm10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	風速	1	1.6	x	2.7	4	4.5	3.6	3.9	3.6	2.2	1.5
	風向	313	201	x	192	204	192	179	209	209	224	180
大寮鄉 潮寮國小	pm10	47	66	159	346	513	351	561	588	126	54	27
	風速	1.3	4.1	4.2	5.2	5.8	6.5	5.6	4.5	3.6	2.7	1.6
	風向	145	189	184	189	195	191	192	189	191	188	192
林園鄉 汕尾國小	pm10	38	148	231	231	232	115	115	20	75	79	20
	風速	3.4	5.1	5.7	5.5	6.6	7.3	6.1	5.6	4.5	3.8	2.9
	風向	159	182	176	190	212	194	194	172	184	196	176

備註： nan 系統錯誤 x 沒有數據

2. 2018年4月23日

測站名稱	項目	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時
美濃鎮 中壇國小	PM10	56	49	43	44	180	411	538	611	532	279	138	81	33
	風速	0.9	1.3	2.7	3	5.6	5.1	4.6	4.5	4.8	3.9	2.9	2.3	2
	風向	95	27	191	198	211	215	200	196	194	189	188	168	165
里港鄉 土庫國小	PM10	77	72	74	27	373	464	321	362	274	193	73	53	32
	風速	0.6	0.7	0.8	1.7	2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	1.8	1.2	0.9
	風向	49	220	196	196	195	200	198	198	198	201	198	197	192
里港鄉 玉田國小	PM10	50	31	17	17	232	229	310	218	120	53	42	16	12
	風速	0.7	0.9	1.1	1.8	2.2	2.7	3	3.2	2.9	2.9	2.4	1.6	1.8
	風向	292	189	158	161	183	180	175	173	177	177	173	166	156
大樹鄉 佛陀紀念館	PM10	69	58	36	47	200	256	254	104	57	47	47	47	58
	風速	0.4	0.3	0.4	0.9	0.4	0.8	0.9	0.5	0.5	0.3	1	0.8	1
	風向	54	121	182	189	210	248	192	209	237	241	181	180	194
大樹鄉 攔河堰	PM10	48	47	51	162	338	492	542	549	505	369	195	88	61
	風速	0.4	0.8	2.4	2.9	3.1	2.6	3.5	2.7	2	2.5	2.8	2	2.1
	風向	118	180	166	170	168	176	168	173	176	172	167	163	162
大樹鄉 大樹國中	PM10	40	91	174	110	7x	104	50	14	14	30	47	40	39
	風速	1	2	3.4	4.4	4.9	5.1	5.1	4.8	4.6	4.4	3.7	3.3	2.9
	風向	270	204	186	192	192	197	197	200	205	200	185	184	185
屏東市 中正國小	PM10	50	54	48	44	58	186	196	192	318	356	333	333	27
	風速	1.7	1.7	3	4.6	4.7	4.1	4.8	4.6	4.7	4	3.8	3.1	2.5
	風向	168	211	203	183	184	195	200	177	203	189	177	184	181
萬丹鄉 新興國小	PM10	64	75	33	53	54	78	52	56	38	64	16	20	8
	風速	1	0.9	2.1	3.8	5	4.6	4.7	4.5	4.6	4.4	3.9	3.6	3
	風向	57	280	181	186	194	197	197	192	193	203	195	195	189
大寮鄉 潮寮國小	PM10	46	57	446	565	565	426	479	339	175	72	34	21	22
	風速	2.1	5.1	5.4	5.1	5.4	6	4.7	4.6	4.3	4.3	3.4	3.5	2.7
	風向	154	162	180	182	193	184	202	192	185	177	175	172	175
林園鄉 汕尾國小	PM10	32	28	30	24	31	27	30	29	27	33	23	17	16
	風速	2.8	4.5	5.3	6	6	5.7	6.3	5.4	4.9	3.9	3.4	2.7	2.5
	風向	156	172	181	184	183	183	186	181	183	176	184	175	176

3. 2019年2月18日

測站名稱	項目	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
美濃鎮 中壇國小	pm10	72	75	60	52	70	194	360	356	328	293	127	29	30	33	29
	風速	1.2	1.1	2.6	4.4	5.2	4.6	5.7	4.9	3.5	3.7	2.9	0.6	1.1	0.4	0.9
	風向	140	236	216	214	198	206	209	211	215	203	208	114	35	49	78
里港鄉 土庫國小	pm10	67	68	37	43	35	41	29	70	71	45	27	21	21	25	21
	風速	0.7	0.7	0.8	1	1.6	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.4	1	1	0.7
	風向	220	162	207	183	188	188	193	188	180	180	169	162	158	133	135
里港鄉 玉田國小	pm10	49	31	32	29	38	225	250	109	90	24	18	73	-5*	4	37
	風速	0.9	1	1.2	2.4	3	2.6	2.8	2.8	3	3	2.4	3	2.6	2.1	1.5
	風向	121	352	185	180	177	194	193	195	183	180	164	156	153	154	147
大樹鄉 佛陀紀念館	pm10	56	47	36	34	34	46	46	45	64	169	227	216	120	64	38
	風速	0.4	0.5	0.4	0.9	0.7	1.5	1	0.8	1.1	1.2	0.4	0.3	0.3	0.1	0
	風向	91	97	175	186	190	241	246	219	192	196	209	183	153	112	185
大樹鄉 攔河堰	pm10	65	67	55	48	141	225	455	480	478	424	519	467	125	225	63
	風速	0.2	0.2	0.4	1.6	2.5	3	2.4	2.4	4.4	5	4.7	4	3.3	2.8	2.3
	風向	109	196	201	199	213	201	195	194	193	192	199	196	199	198	196
大樹鄉 大樹國中	pm10	103	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#	103#
	風速	0.5	0.7#	1.8#	3.9#	4.7#	4.5#	4.4#	4.6#	4.5#	3.5#	2.9#	2.7#	2#	1.9#	
	風向	310	204#	206#	193#	200#	205#	204#	190#	181#	177#	170#	169#	163#	168#	166#
屏東市 中正國小	pm10	72	57	49	48	49	59	52	37	36	34	23	29	45	24	28
	風速	1.1	1.9	2.5	4.4	4.4	4.2	4.1	4.9	4	3.7	3.9	3	3	2.3	1.9
	風向	191	251	197	184	198	196	198	177	188	162	161	153	149	146	124
萬丹鄉 新興國小	pm10	76	78	47	39	68	40	98	50	25	47	133	28	33	32	68
	風速	1.4	1.3	1	1.4	2.5	3	2.5	3.9	4.1	4.2	4.3	3.9	3.1	2.6	1.9
	風向	331	326	341	240	208	200	219	194	187	182	170	164	166	157	154
大寮鄉 潮寮國小	pm10	66	56	44	50	40	31	59	69	139	91	42	37	28	20	15
	風速	1.4	1.6	3.6	3.7	4.4	4.3	5	5.8	6.7	4.5	3.9	3.6	3	2.9	2.3
	風向	315	188	219	212	184	201	182	174	174	167	173	169	166	154	169
林園鄉 汕尾國小	pm10	80	81	1000#	67	44	25	27	46	56	40	39	44	35	36	34
	風速	1.6	2.5	1.2#	2.7	3.2	4	4.1	3.7	4.4	3.9	4	3.1	3.2	2.6	2.4
	風向	180	219	192#	248	209	180	176	165	167	153	167	170	165	170	179

備註： #儀器檢核為無效值 *程式檢核為無效值

Analysis of Aeolian Dust Disasters and Potential Areas of Aeolian Dust Occurrence of Gaoping River with Satellite Images and Monitoring Data

Yen-Yi Lin ¹ Yu-Chia Lin ¹ Tzu-Chi Hung ¹ Chia-Hui Lin ^{2*}

Abstract

This study focuses on the causes and sources of aeolian dust along the Gaoping River. First, various data, including wind speed, wind direction, and PM₁₀, are collected to draw wind rose charts and isarithmic maps. The illustrations point out that generally, dusts are raised by south winds and later transported north along the river. Next, satellite images between 2018 and 2020 are converted to NDVI and NDWI modes with the aim of determining the sources of aeolian dust. Different colors are used to depict the special distributions of fallow farmlands, sandbars, high and low riverbanks, etc. After that, with the use of QGIS-SCP supervised image classification and its later converted vector mode, overlay analysis over the years is performed. The results suggest that wide fallow farmlands and sandbars of Erzhong River, both lying in the northern section of the research area, comprise the greatest threat of aeolian dust occurrences. Based on the analysis mentioned above as well as field investigation, this study lays out the potential areas of aeolian dust occurrence along the Gaoping River, and it is hoped to assist the future plans for suppressing aeolian dust.

Keywords: Aeolian dust, Gaoping River, FormoSat-5, Satellite image analysis, Monitoring data analysis

¹ Senior Student, National Pingtung Girls' Senior High School

² Geography Teacher, National Pingtung Girls' Senior High School

* Corresponding Author, E-mail: geobelle12@gmail.com

Received Date: Nov. 01, 2021

Revised Date: Nov. 24, 2021

Accepted Date: Dec. 23, 2021