濁水溪下游河段揚塵發生之影響因素

林昭遠* 林政侑

摘 要 濁水溪旱季時河道水位降低,河床裸地面積增加,適逢東北季風吹襲,因缺少植生及水覆蓋,細小砂粒易受風力揚起形成揚塵,對鄰近居民健康造成極大危害。如何篩選影響河川揚塵發生之因素,建置河川揚塵濃度推估模式,對揚塵危害區位預警系統雛型之研發極為重要。本研究以濁水溪下游河段為樣區,蒐集鄰近樣區之氣象資訊及衛星影像資料,分析氣象及土地利用等因素對河川揚塵發生之關係,建立河川揚塵濃度推估模式。結果顯示河川揚塵事件日之各氣象因素與 PM₁₀ 濃度在時序上,其峰值有遲滯現象,模式建置時須加以調整。整合氣象因素及土地利用所建置之日最大 PM₁₀ 濃度推估式,其判定係數可提升至 0.77,已能有效反應崙背測站揚塵日最大 PM₁₀之濃度變化,所建置之模式可供河川揚塵預警系統研發之參考。
關鍵詞:濁水溪、河川揚塵、預警系統。

Factors Affecting Aeolian Dust Emission in the Downstream of Zhuo-shui River

Chao-Yuan Lin^{*} Cheng-Yu Lin

ABSTRACT Bare lands in the Zhuo-shui River are increasing due to decreasing water levels in drought seasons. The smaller particles of the bare lands lacking vegetation cover and/or water could be easily suspended and became aeolian dust under the northeast monsoon. It would seriously affect the nearby residents' health. Screening for the affecting factors and establishing the evaluation model are important to develop the warning system for areas vulnerable to aeolian dust emission. The downstream section of the Zhuo-shui River was selected as the study area. Meteorological data and satellite images were collected to analyze the main factors causing the aeolian dust emission for establishing the PM₁₀ estimation models. The results indicate the established models should be adjusted due to the time-lagging phenomenon of peak occurrence between meteorological factors and PM₁₀ in time series plotting. The coefficient of determination reached 0.77 by combining meteorological factors and land use to evaluate the daily maximum PM₁₀, and the model shows the variations in concentration of the daily maximum PM₁₀ at Lunbei monitoring station. The model developed in this study could be used as a reference for the warning system of aeolian dust emissions.

Key Words : Zhuo-shui River, aeolian dust emissions, warning system.



濁水溪冬旱季下游 (自強大橋至西濱大橋間)因 水位下降,河床裸地面積增加,一旦受東北季風吹襲 時易產生揚塵,降低南岸地區之空氣品質,對當地居 民生活及健康造成極大威脅。當空氣中懸浮粒子小於 10μm時,粒子會累積於肺部,對人體健康有害 (Pope, 2000); Krewski et al. (2000) 指出粒子的氣體動力直徑

國立中興大學水土保持學系

* Corresponding Author. E-mail : cylin@water.nchu.edu.tw

Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

在 2.5μm 以下時,會造成呼吸道疾病易導致幼兒死亡。 行政院環保署 (2008) 以 PM₁₀ 日平均濃度等於及大於 125μg/m³等標準,對9個空品站進行河川揚塵事件日 判定,結果發現崙背空品站所發生之河川揚塵事件日 數最高,其每年河川揚塵事件日約有9天;若以河川 揚塵事件日數占總事件日數之百分比,亦是崙背空品 站為最高,可見濁水溪河川揚塵事件對南岸之崙背地 區居民影響甚鉅。而政府對河川揚塵之解決方式多採 抑止裸地之土砂揚起,但其無法適用於廣大之河床, 因此應以預警代替抑止方式,瞭解河川揚塵發生之影 響因素,建置河川揚塵濃度推估模式才是上策。

Monn et al. (1995) 認為粒狀物排放受風速、風 向、輻射量以及溫濕度等氣象條件所影響。而蔡春進 等 (1999) 利用風洞試驗發現裸地之揚塵與風速大小 有密切關係。李晉儀 (2001) 利用多變數迴歸方法探討 裸地及未鋪面道路,針對所量測的排放係數及各項參 數作迴歸,結果顯示裸地揚塵總排放係數隨著平均風 速、坋土比率增加而增大,但隨著地面粉塵含水量增 加而減少。由上述研究可知揚塵事件多與風速大小有 關,而溫度、濕度及裸地面積亦是影響揚塵來源之重 要因素。

本研究蒐集 2005~2009 年崙背空氣品質監測站資 料,篩選河川揚塵事件日及氣象資料,對氣象因子與 PM₁₀進行迴歸分析並探討其相關性;另藉由歷年衛星 影像資料進行裸地區位萃取,最後結合氣候因子及所 萃取之地覆類別,探討其與 PM₁₀之關係,找出河川揚 塵濃度變化之影響因素,藉此建置河川揚塵濃度推估 模式。

二、研究流程

選定樣區篩選河川揚塵事件日之風速、溫度及濕 度等氣象資料;結合 SPOT 衛星影像萃取樣區河床裸 地面積,探討上述因素組合與 PM₁₀之關係,建立河川 揚塵推估模式 (圖 1)。

三、材料與方法

1. 樣區概述

以濁水溪下游自強大橋及西濱大橋間之河段為樣 區(圖2),其介於彰化縣大城鄉、竹塘鄉及雲林縣麥 寮鄉、崙背鄉和二崙鄉,由於濁水溪流經之地層多屬 砂、頁岩等易受侵蝕之地層,因此含砂量高,在下游 平坦地區造成大量泥砂堆積,當冬旱季受東北季風吹 襲時,在缺少植生及水覆蓋之條件下裸露河床易產生 揚塵危害。

2. 研究材料

(1) 篩選河川揚塵事件日

為排除非河川揚塵所造成之事件,本研究参 考河川揚塵對中部大氣懸浮微粒影響程度之評 估專案工作計畫 (環保署,2008),選取濁水溪南 岸揚塵受害嚴重之崙背空氣品質監測站 (圖 3) 之 PM₁₀、PM_{2.5}、降雨、風速及風向等資料,進 行河川揚塵事件日之篩選。



■ 1 研究流程 Fig.1 Flowchart of the study



Fig.2 Study area

(2) 建置河川揚塵預測模式

風為揚塵主要動力,風速大小與裸地揚塵有 密切關係 (蔡春進等,1999);溫度會影響空氣中 之對流情形,林斌龍、李崇德等 (1990)研究顯 示,台北地區 PM₁₀ 濃度與日最高氣溫呈正相 關;而空氣中濕度增加時,大氣中之懸浮微粒粒 徑會因水氣而增加,沉降速度亦隨之增加,將有 助於大氣中 PM₁₀ 之去除,即兩者呈負相關 (Smith et al., 2001),故本研究選用河川揚塵事件 日之風速、溫度、濕度為影響因子,配合購自中 央大學太空遙測研究中心之 SPOT 衛星影像 (表 1)進行裸地區位萃取,建置河川揚塵預測模式。

3. 研究方法

(1) 河川揚塵事件日

河川揚塵事件日篩選步驟 (環保署,2008) 如下:

- ① 找出各測站歷年 PM₁₀ 事件日(PM₁₀≥125 μ g/m³)。
- ② 扣除沙塵暴事件日及非沙塵暴長程傳輸事件日。
- ③ 扣除降雨天。
- ④ 所剩下之事件日取各測站之年平均風速,將 風速大於年平均風速者先歸類於河川揚塵事 件日。
- ⑤ 被 歸 類 為 河 川 揚 塵 事 件 日 者 需 再 以 PM_{10-2.5}/PM₁₀之比值(此比值需大於 0.4)、日 平均風速、午時平均風速(12:00~17:00)、風 向及天氣型態來驗證,再刪除不含合理者。 (日平均風速與午時平均風速兩者至少須有一 項需大於 2m/s;大部分南風及東南風不易形 成河川揚塵亦予以刪除)。
- ⑥ 被歸類為非河川揚塵事件日者,若其 PM_{10-2.5}/PM₁₀之比值大於 0.4,且日平均風速 或午時平均風速兩者有一項需大於 3m/s者, 則移至河川揚塵事件日。

因崙背測站位於樣區南岸,其河川揚塵事件 日最多,故選擇此站 2005-2009 年之河川揚塵事 件日資料進行分析探討。揚塵事件多發生於東北 季風盛行之季節,且崙背站位於濁水溪南岸偏 西,砂塵主要來自東北方,因此將上述步驟之結 果再刪除非東北風者,而風向是利用計算事件日 中各小時 PM₁₀ 大於 125 µ g/m³ 發生時的風向向 量和,若計算結果落在第一象限則判定為東北 風。

(2) 影像分類

採用監督式分類 (supervised classification) 中最常見之最大概度法 (Method of Maximum Likelihood) 進行影像分類,其判別規則是基於機 率分布,須先假設選取訓練樣區密集點之分布所 形成的類別資料為常態分布 (normal distribution),在此假設下,各類別光譜反應型式之分布 與其平均向量 (mean vector) 及共變矩陣 (covariance matrix) 相關。利用這些參數便可計算每 個像元之統計機率,若將此機率值繪於三度空間 圖上,垂直軸表示某像元屬於各地物類別之機 率,依據此機率將該像元劃分到機率最大的那一 類 (圖 4)。

表1 名期衛星影像資訊

Table 1 The information of satellite images

| 日期 | 衛星種類 | 空間 解析度 | 日期 | 衛星種類 | 空間 解析度 |
|------------|-------|-----------|------------|-------|-----------|
| 2005/10/16 | SPOT4 | 20mx20m | 2005/12/03 | SPOT4 | 20mx20m |
| 2006/01/02 | SPOT4 | 20mx20m | 2006/03/17 | SPOT4 | 20mx20m |
| 2007/11/04 | SPOT5 | 10m×10m | 2007/12/01 | SPOT4 | 20mx20m |
| 2008/10/28 | SPOT4 | 20mx20m | 2008/12/03 | SPOT4 | 20mx20m |
| 2009/01/03 | SPOT5 | 10m×10m | 2009/01/20 | SPOT4 | 20mx20m |
| 2009/09/20 | SPOT5 | 10m×10m | 2009/11/05 | SPOT5 | 10m×10m |



圖3 常都空品站位置

Fig.3 The position of Lunbei air quality monitoring station

(3) 精確度評估

遙測影像經分類後所得到的資訊,分類成果的精確度評估是否達到需求,是遙測分類能否達 到監測目的的一個研究重點,而目前對於影像精 確度評估最常使用的方法是整體精確度 (overall accuracy) 及 Kappa 係數 (陳添水,2002)。

① 整體精確度

最簡單的整體描述法,其計算方式為對 角線元素總和除以所有元素之總和,由於已 考慮到每個類別相對的權重關係,所以整體 精確度較客觀,其公式如下:



式中 n 為分類矩陣之列數, X_{ii}為分類矩 陣中欄列對角之樣點數目, X_{ij}為分類矩陣中 第 i 列第 j 行之樣點數目。

② Kappa 係數

Kappa 係數為用以比較判釋後成果與完 全隨機分類之情況下,其判釋後成果所減少 錯誤的百分比。換言之,Kappa 係數扮演著判 釋後成果比隨機分類優良程度的一種指標。 而 Kappa 係數可藉由誤差矩陣間的相互運算 求得,並同時考慮誤授及漏授之因素,後來 被廣泛地應用於遙測影像判釋的精度評估。 一般而言,Kappa 係數介於 0~1 之間,Kappa 係數越大代表分類精確度越高。其公式如下 (Congalton,1991):



■4 分類類別機率密度函數 (Lillesand & Kiefer,1994)

Fig.4 Probability density function for each classified land cover

Kappa 係數 =
$$\frac{N\sum_{i=1}^{n} X_{ii} - \sum_{i=1}^{n} (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{n} (X_{i+} \times X_{+i})} \times 100\%$$

式中 n 為分類矩陣之列數, X_{ii} 為分類矩 陣中欄列對角線之樣點數目, X_{i+} , X_{+i} 為分類 矩陣中各欄及各列之樣點數目,N 為全部樣 點數目。

(4) 統計分析

① 多元迴歸

在僅有一個解釋變數對應單一變數時成 為簡單直線迴歸 (simple regression analysis),即 y=f(x),其計算原理主要是利用最小 平方法 (method of original least square),若有 多個解釋變數時,則稱之為多元迴歸分析 (multiple regression analysis)。其模式可表示如 下:

$$Y = \boldsymbol{\beta}_0 + \boldsymbol{\beta}_1 X_1 + \boldsymbol{\beta}_2 X_2 + \dots + \boldsymbol{\beta}_n X_n$$

式中 Y 為應變數, X_i 為解釋變數, β_i 為 迴歸係數。其模式以矩陣表示可寫成如下:

| $\left[Y_1 \right]$ | | [1 | x_{11} | | x_{n1} | $\left[\boldsymbol{\beta}_{\scriptscriptstyle 0} \right]$ |
|----------------------|---|----|----------|-----|-------------------------------|--|
| Y_2 | | 1 | x_{12} | ••• | <i>x</i> _{<i>n</i>2} | $ \boldsymbol{\beta}_1 $ |
| 1: | = | : | ÷ | · | : | : |
| Y_n | | 1 | x_{1n} | | x_{nn} | $[\boldsymbol{\beta}_n]$ |

本研究選用多元迴歸分析中之逐步迴歸 法 (stepwise),利用選取一組新集合的自變數 以產生較佳的迴歸模式,藉由逐步迴歸將與 應變數有顯著關係之自變數選出,而刪除無 顯著關係者,藉此減少不必要之自變數,減 低模式預估參數。變數之選定通常使用 F 檢 定之顯著水準來決定,自變數值則為對模式 之影響效果,其亦作為模式選入之參考標準。

四、結果與討論

1. 揚塵發生與氣象條件之關係

依研究方法可篩選出 44 筆事件日,各事件日之時 PM₁₀ 濃度與氣象因子在時間分布上具遲滯現象(圖 5~7),即氣象因子達峰值數小時後 PM₁₀峰值才出現。 風力為揚塵傳輸之主要動力來源,風速較大時揚塵濃 度易被稀釋,會產生遲滯現象。溫度變化會使大氣產 生垂直的對流,而細小砂粒易受上升氣流揚起,由於 溫度無法像風力一樣即時帶動砂粒,因此遲滯現象發 生時間較長;濕度為空氣中水氣含量,濕度高容易使 空氣中揚塵量下降,而產生遲滯現象之原因可能為濕 度上升之速率高於揚塵濃度下降速率。由於風力為揚 塵主要動力來源且影響最明顯,故將溫度及濕度配合 風速往後調整兩小時,各氣象因子與時 PM₁₀濃度之判 定係數皆有提升,其中風速、溫度、以及濕度分別由 0.74、0.32、0.54 提升至 0.97、0.79、0.84。

為預測一日可能造成之最大揚塵汙染程度,採用 日最大 PM₁₀ 濃度進行分析,分析時其所對應之氣象因 子為兩小時前之資料,結果顯示日最大 PM10 濃度和兩 小時前之風速及溫度呈現正相關,其判定係數分別為 0.12 及 0.14; 濕度則呈負相關, 判定係數為 0.076, 各 因子與日最大 PM₁₀ 濃度之解釋能力不佳,原因可能在 於日最大 PM10之濃度無法由單一因子決定,故將日最 大 PM₁₀濃度與該時之風速、溫度、濕度以逐步迴歸法 進行分析 (表 2), 剔除濕度因子後之判定係數為 0.3, 模式解釋能力雖有提升但依然不佳,在檢視事件日篩 選結果中發現,有幾筆資料可能影響模式解釋能力, 分別為兩個部分,在風速部分,詹俊男 (1996) 分析台 灣地區 PM10 汗染特性中提到,在低 PM10 汗染期間, 氣象資料具有溫度低、風速較高及降雨量較多等特 徵,其原因在於風速較高時,汙染物擴散現象良好, 使 PM10 不易累積於大氣中, 而在本研究資料中風速多 集中在 10 m/s 以下,惟兩筆極端值分別為 13.86 m/s 及 17.26 m/s 其對應 PM₁₀ 相較於風速接近 10 m/s 時並無 較高之趨勢;在濕度部分 Chu (1997) 研究美國城市之 懸浮微粒濃度與氣象條件之關係中提到,高濃度 PM₁₀ 主要發生於濕度為40%~60%之間,而本研究中濕度大 於 80%者出現三筆,此三筆所對應之 PM₁₀ 濃度亦最 低。在此刪除上述五筆資料並再進行逐步迴歸,結果 如模式 2 所示,三種氣象因子皆被納入模式中且判定

表 2 日 最 大 PM₁₀ 推估模式 (孝 量 氣 象 ほ 子)

Table 2The evaluation model for the daily
maximum PM10 (meteorological factors
considered)

| | 模式 | 樣本數 | R平方 |
|-----|--|-----|---------|
| 模式1 | PM ₁₀ =12.292風速+21.693溫度-60.11 | 44 | 0.3*** |
| 模式2 | PM ₁₀ = 74.981風速+19.478溫度-6.765 濕度-163.904 | 39 | 0.49*** |

係數達 0.49,為提升模式之線性關係故選擇刪除上述 五筆資料。然僅氣象因子尚無法有效解釋河川揚塵之 現象,需納入其他因子以提高模式之解釋能力。





Fig.5 Relationship between hourly wind velocity and hourly PM_{10} for the day of aeolian dust occurrence





Fig.6 Relationship between hourly temperature and hourly PM_{10} for the day of aeolian dust occurrence







2. 揚塵發生與地覆類別之關係

(1) 影像分類

利用十二期之衛星影像以監督式分類中的 最大概度法 (Method of Maximum Likelihood) 進行分類,其地覆類別分別為水域、植生及裸 地,其中裸地又細分為高灘地及低灘地,分類結 果如圖 8,在精確度評估上 Kappa 係數皆大於 0.7 (表 3),依據 Congalton (1991)研究指出 Kappa 係數達 0.7 即為良好等級。結果顯示各地覆類別 隨時間改變,而裸地面積為影響揚塵量的主要地 覆類別,樣區內各類別面積如表 4。

(2) 裸地面積與揚塵量之關係

選擇離事件日最近之衛星影像,探討裸地變 化對揚塵量之影響。在裸地面積與日最大 PM₁₀ 濃度之迴歸分析中顯示,低灘地區位與日最大 PM₁₀濃度呈現正相關,判定係數為 0.2,而高灘 地之判定係數較低,其原因可能為低灘地相較於 高灘地,因離深漕線較近,按沉澱順序低灘地之 粒徑較高灘地小,雖結殼現象具保護作用,但瓜 農整地時易將其破壞,乾旱時便容易受風力揚 起,故低灘裸地面積與日最大 PM₁₀濃度之關係 較明顯。

3. 揚塵量預測模式

考慮氣象因子,模式之判定係數僅0.49,因 此尚需結合衛星影像所萃取之地覆類別資訊建 置模式,但並非所有事件日皆有衛星影像,遂刪 除無衛星影像之事件日。在28筆具衛星影像之 河川揚塵事件日,其距離影像拍攝日期之天數皆 不同,因此地覆類別對於日最大 PM10 濃度之解 釋能力亦有所差異,本研究在此以不同天數為限 制,挑撰符合限制天數之地覆類別與該對應事件 日之氣象因子進行迴歸分析,探討以多少天數為 限其解釋能力較佳,在篩選過程中發現,事件日 距離影像拍攝日期之天數較近者,日最大 PM₁₀ 濃度除了受氣象因子影響外,因地覆類別較接近 影像拍攝時之情形,故能提升對日最大 PM10 濃 度之解釋能力;反之,離拍攝影像日期較遠者, 因地覆類別與影像拍攝時之現況有差距,故無法 提升對日最大 PM10 濃度之解釋能力。而研究中 發現,事件日距離影像拍攝日期之天數以6天為 界之解釋能力最佳(表5),距離6天內之地覆類

表 3 影像の類精確度評估總表

Table 3 Accuracy of image classification

| 日期 | 整體精度 | Kappa 係數 | 日期 | 整體精度 | Kappa 係數 |
|------------|--------|-------------|------------|--------|-------------|
| 2005/10/16 | 83.20% | 0.78 | 2005/12/03 | 83.59% | 0.78 |
| 2006/01/02 | 83.20% | 0.78 | 2006/03/17 | 77.34% | 0.70 |
| 2007/11/04 | 83.98% | 0.79 | 2007/12/01 | 83.59% | 0.78 |
| 2008/10/28 | 85.55% | 0.81 | 2008/12/03 | 84.77% | 0.80 |
| 2009/01/03 | 83.59% | 0.78 | 2009/01/20 | 86.72% | 0.82 |
| 2009/09/20 | 90.63% | 0.88 | 2009/11/05 | 84.38% | 0.79 |

表 4 地 覆類 別 統計

Table 4 Statistics of each land cover

| 影像日期 | 面積(ha) | | | | | 百分比 | | | | |
|------------|--------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 水域 | 低灘地 | 高灘地 | 植生 | 合計 | 水域 | 低灘地 | 高灘地 | 植生 | 合計 |
| 2005/10/16 | 306 | 278 | 826 | 1314 | 2725 | 11.25 | 10.20 | 30.32 | 48.23 | 100 |
| 2005/12/03 | 154 | 261 | 931 | 1379 | 2725 | 5.65 | 9.56 | 34.16 | 50.62 | 100 |
| 2006/01/02 | 247 | 244 | 1327 | 907 | 2725 | 9.05 | 8.96 | 48.68 | 33.30 | 100 |
| 2006/03/17 | 102 | 446 | 606 | 1571 | 2725 | 3.74 | 16.35 | 22.25 | 57.65 | 100 |
| 2007/11/04 | 262 | 429 | 1159 | 875 | 2725 | 9.60 | 15.75 | 42.52 | 32.13 | 100 |
| 2007/12/01 | 292 | 313 | 1328 | 793 | 2725 | 10.71 | 11.48 | 48.73 | 29.08 | 100 |
| 2008/10/28 | 268 | 618 | 984 | 855 | 2725 | 9.84 | 22.69 | 36.09 | 31.38 | 100 |
| 2008/12/03 | 257 | 401 | 1258 | 809 | 2725 | 9.44 | 14.70 | 46.18 | 29.68 | 100 |
| 2009/01/03 | 289 | 315 | 1504 | 616 | 2725 | 10.62 | 11.58 | 55.20 | 22.60 | 100 |
| 2009/01/20 | 181 | 344 | 1604 | 597 | 2725 | 6.63 | 12.61 | 58.86 | 21.89 | 100 |
| 2009/09/20 | 293 | 497 | 1344 | 592 | 2725 | 10.74 | 18.22 | 49.33 | 21.71 | 100 |
| 2009/11/05 | 226 | 547 | 1134 | 818 | 2725 | 8.28 | 20.07 | 41.61 | 30.03 | 100 |

別能有效提升日最大 PM₁₀濃度之解釋能力。因此,在 應用上,考慮是否具衛星影像之天數可能須縮短為 6 天,以此地覆類別進行日最大 PM₁₀濃度之解釋能力會 有較佳之結果;反之,超過 6 天雖具有衛星影像者, 其地覆類別無法有效提升對日最大 PM₁₀濃度之解釋能 力。



區 8 影像分類成果 Fig.8 The results of image classification

表5 援陸預測模式解釋』

Table 5 Interpretation ability for the models

| 自變數 | 離拍攝日期 6天以內 (12筆) | 離拍攝日期 超過6天 (16筆) | |
|-------------------|---------------------|---------------------|--|
| 風速、溫度、濕度 | 0.52 | 0.53* | |
| 風速、溫度、濕度、 地覆類別 | 0.77* | 0.53 | |

五、結 論

近年河川揚塵問題逐漸受國人關注,因此探討影響河川揚塵發生之因素,建置河川揚塵濃度推估模式,對揚塵危害區位預警系統雛型之研發極為重要。本研究依據環保署2008年所訂定之標準篩選崙背空品站河川揚塵事件日共44筆,並結合事件日之氣象因子(風速、溫度、濕度)及衛星影像分析所得之地覆類別,探討河川揚塵影響因子與PM₁₀濃度之關係。研究結果顯示,氣象因子與PM₁₀濃度在時序上具有遲滯現象,其特性可用來建構模式預測兩小時後之日最大PM₁₀濃度,如此可用來提早預警當地居民。模式只考慮氣象因子其判定係數僅0.49,若納入地覆類別其判定係數 因子其判定條數僅0.49,若納入地覆類別其判定係數可提升至0.77。所建置之模式已能有效解釋河川揚塵

誌 謝

本研究承蒙行政院環保署 EPA-99-FA14-03-A195 計畫之經費補助,特於此敬上誠摯的感謝。

參考文獻

- 李晉儀 (2001),「裸露表面揚塵控制研究」,國 立交通大學環境工程研究所碩士論文。(Lee, C.I. (2001). Research on the Control of Fugitive Dust from Expose Surface, Master thesis, National Chiao Tung University. (in Chinese))
- [2] 林昭遠、李承寯、莊智瑋 (2009),「濁水溪河口 揚塵潛在區位地覆類別判釋之研究」,水土保持 學報 41(2),125-138。(Lin, C.Y., Li, C.J., Chuan, C.W. (2009). "A Study of Landcover Pattern Recognition at the Dust Emission Potential Areas in the Estuary of Jhoushei River," *Journal of Soil and Water Conservation*, 41(2), 125-138. (in Chinese))
- [3] 林斌龍、李崇德 (1990),「台北地區 PM₁₀ 濃度與 氣象因子之多變量統計分析」,第7 屆空氣汙染 控制技術研討會,桃園。(Lin, B.L., and Li, C.T. (1990). "The Relationship of PM₁₀ and Meteorological Factor Using Multivariate Statistical Techniques in Taipei," The 7th Air Pollution Control Technology Seminar, Taoyuan. (in Chinese))
- [4] 陳添水 (2002),「遙測應用於大肚溪口地區環境變遷分析」,行政院農業委員會持有生物保育研

究中心, 4(1), 61-74。(Chen, T.S. (2002). "Using Remote Sensing to Analysis Environmental Changes in the Tatu River Mouth," Endemic Species Research Institute. 4(1), 61-74. (in Chinese))

- [5] 詹俊南 (1996),「台灣地區 PM₁₀ 污染特性分析」, 國立台灣大學環境工程研究所碩士論文. (Chan, J.N. (1996). *The Analysis of PM₁₀ Air Pollution Problem in Taiwan Area*, Master Thesis, National Taiwan University. (in Chinese))
- [6] 蔡春進、繆敦耀、簡聰智、陳泰任 (1999),「裸露地逸散性粒狀空氣污染物的控制技術研究」,第十六屆空氣污染控制技術研討會,桃園。(Tsai C.J., Miaw, D.Y., Chien, T.C., Chen, T.J. (1999). "The Study of Air Pollution of Fugitive Particulate Matter Control Technology on Exposed Area," The 16th Air Pollution Control Technology Seminar, Taoyuan. (in Chinese))
- [7] 行政院環境保護署 (2008),「河川揚塵對中部大 氣懸浮微粒影響程度之評估專案工作計畫」,行 政院環境保護署,台灣。(Environmental Protection Administration Executive Yuan. (2008), "The Assessment Project of the Effect of Particulate Matter by Aeolian Dust Emission in Central Taiwan," Environmental Protection Administration Executive Yuan, Taiwan. (in Chinese))
- [8] Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., and Tarantola, S.(2002a), "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach," Remote Sensing of Environment, 82(2-3), 188-197.
- [9] Chu, S.H. (1997), "Meteorological conditions conducive to regional high particulate matter episodes," Air and aste Management Association's 90th Annual Meeting and Exhibition, June 8-13, Toronto, Ontario, Canada 97-MP112.06.
- [10] Congalton, R.G.(1991), "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data," Remote Sensing of Environment, 37, 35-46.
- [11] Krewski, D., Burnett, R.T., Goldberg, M.S., Hoover, K., Siemiatycki, J., Jerrett, M., Abrahamowicz, M., and White, W.H. (2000), "Reanalysis of the harvard six cities study and the american cancer society study of particulate air pollution and mortality: a special report of the institute's particle epidemiology reanalysis project," Health Effects Institute, Cambridge MA, 97.

- [12] Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. (1994), Remote sensing and image interpretation, John Wiley & Sons, Inc., 15-592
- [13] Monn, C. H., Braendli, O., Schaeppi, G., Schindler, C. H., Ackermann-Liebrich, U., Leuenbrger, P.H. and Team, S. (1995), "Particulate matter <10μm (PM₁₀) and total suspended particulates (TSP) in urban," Rural and Alpine Air in Switzerland. Atmospheric Environment, 29, 2565-2573.
- [14] Pope, C.A. (2000), "Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk?" Environment Health Perspective, 104, Sup1.4, 713-723.
- [15] Smith, Steve, F.Trevor Stribley, Peter Milligan, and Ben Barratt(2001), "Factors influencing measurements of PM₁₀ during 1995-1997 in London," *Atmospheric Envernment*, Vol.35, 4651-4662.

| 2 | 011年12 | 月 05 日 | 收稿 |
|---|--------|--------|----|
| 2 | 012年03 | 月 08 日 | 修正 |
| 2 | 012年04 | 月 24 日 | 接受 |

(本文開放討論至2013年6月30日)