

以陸源物質傳輸方法研擬河川揚塵源頭治理對策

-以卑南溪流域為例

蔡淑芬⁽¹⁾ 李世冠⁽²⁾ 楊信凱^{(3)*}

摘要

臺灣位處於亞洲東南方之近海季風區域內，氣候分界以北迴歸線劃分為南北兩個氣候區，形成季風現象明顯對比，尤其以冬季之東北季風最為強烈；臺灣東部主要河川卑南溪流域短且陡，流量隨降雨迅速漲落，豐水期水流湍急，洪水挾帶大量泥砂至下游堆積，至枯水期，下降的沉積物可能產生大量的河床裸露，造成潛在的河川揚塵發生。

卑南溪之地質構造為利吉層，由泥岩夾雜外來岩塊組成，透水性低，容易遭受雨水沖蝕而形成蝕溝，並造成地表嚴重裸露及產生崩塌，源頭因地表逕流影響而挾帶大量泥砂至下游沉積，是卑南溪下游主要土砂細顆粒來源。每逢冬季枯水期在強勁的東北季風吹襲下，使卑南溪下游段至出海口發生嚴重揚塵危害。目前有關單位為了抑制及減緩揚塵危害，於河道內裸地採用水覆蓋、綠覆蓋等臨時性工法抑制，惟此等工法經颱風豪雨過後，極易遭沖毀殆盡，效益不彰。

本研究採用裸地圖資及數值高程模型 DEM 萃取卑南溪集水區裸露及保水潛勢區位，優選適宜營造區位，於蝕溝出口處設置沉砂滯洪設施，截留沖蝕土砂，減少細顆粒土砂來源，以 INVEST 模式推估營造後攔砂成效，結果獲知泥砂產量為 317 (m^3/yr)，而可容許沉砂量為 5,427 (m^3)，顯示藉控制集水區河川源頭裸地之泥砂，可有效抑止下游河道揚塵發生潛勢。

(**關鍵詞**：卑南溪、揚塵、利吉層、InVEST 模式)

A Study of River Dust Control Methods Using Concepts of Terrestrial Materials Transportation in Beinan Creek Watershed

Shu-Fen Tsai⁽¹⁾ *Shih-Kuan Li*⁽²⁾ *Hsin-Kai Yang*^{(3)*}

Ph.D.Student⁽¹⁾ Graduate Student⁽²⁾, Ph.D⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, 402, R.O.C.

(1) 國立中興大學水土保持學系 博士生

(2) 國立中興大學水土保持學系 碩士

(3) 國立中興大學水土保持學系 博士(通訊作者 e-mail: jacky6661688@gmail.com)

ABSTRACT

Taiwan is located in the offshore monsoon region of Southeast Asia. The climate-division could be divided into the north and south zone by the tropic line of the north. The monsoon phenomenon is obviously contrasted, especially with the northeast monsoon being the most intense in the northeast. The Beinan River basin, a main river in eastern Taiwan, is short and steep which cause torrential flow during the wet seasons and the discharge rapidly rises and falls with rainfall. The eroded sediments deposited in the downstream during the dry seasons could yield large amount of bare riverbed which will result in potential river dust occurrence.

The geological structure of the left bank of the Beinan Creek is the Liji Formation, which is a composed of mudstone. It has low water permeability, and is easily exposed to rainwater erosion to form erosion ditch. It causes serious surface exposure and collapse, and the source upstream is affected by rainfall surface runoff. A large amount of silt to the downstream sediments is the main source of fine particles in the downstream of the Beinan Creek. During the dry season in winter, under the strong northeast monsoon strike, the downstream section of Beinan Stream in Taitung City has caused serious dust hazards. At present, in order to control and mitigate the occurrence of dust, the relevant units have adopted temporary methods such as water cover and green cover on the river banks. However, after such typhoon and heavy rain, they can easily be washed away and the benefits are not obvious.

In this study, satellite image and DEM were used to extract bare-land areas and potential water-retention sites on the left bank of the Bainan River. It is implemented to set sedimentation and detention facilities at the outlet of the sub-division for retaining the eroded sediments. InVEST model was employed to estimate the sediment yield and detention volume, and the effectiveness of sediment blocking can be assessed. The annual sediment yield and the detention volume is 317 m³ and 5,427 m³ respectively for the sampling sub-division. The results show that there is a significant benefit for decreasing the occurrence of river dust using sediment control in the bare areas of headwater.

Keywords : Beinan Creek, dust, Liji Formation, InVEST model

一、前言

臺東市位於卑南溪出海口南方，總人口數約105,825人，佔全臺東縣全部人口約47%比例，是臺東縣十六個鄉鎮市之地理、人口、政治、經濟及文化中心。臺東市每年逢秋冬東北季風或颱風侵襲前因環流共伴影響，於強風吹襲下，河床砂粒與灰塵隨風揚起四處飛散，使整個臺東市籠罩在一片灰濛濛的砂塵中，戶外能見度相當低，空氣品質惡劣，除影響臺東市居民交通安全與生活品質外，亦對農工商業均造成相當大之影響。

臺灣東部主要河川之一卑南溪，受上游地層構造影響，下游河床粒徑分布較其他流域細小，每年冬季枯水期間，河床土砂乾燥，逢東北季風，砂粒與微塵隨強風揚起，造成臺東市籠罩在霧霾之中，嚴重影響空氣品質，使得臺東市素有砂城之稱，八八風災過後，大量土砂隨洪水而下，堆積於河床上，更加劇揚塵災害，臺東河口揚塵危害抑制，刻不容緩。河川揚塵發生機制及抑制工法前人研究不餘遺力；揚塵發生包括氣候條件、水位變化、土壤質地等因子，目前相關研究提出之揚塵抑制手段不外乎於下游河口段施作水覆蓋、綠覆蓋及護甲覆蓋等工法，其目的係為減少乾枯灘地裸露面積，達抑制揚塵之效，惟此等工法經颱風豪雨過後，極易遭沖毀破壞，致施作及維護管理效益不彰。

國內有關研究多針對揚塵發生機制、潛在區位劃定、河口段揚塵災害分析及抑制工法之探討。然下游河床堆積之土砂多為颱風豪雨將上游細顆粒沖刷至下游河口段淤積而成，鮮有相關研究針對河川集水區上游細顆

粒土砂截留對減少下游裸露灘地細粒料砂源補充及揚塵抑制之效益評估。

卑南溪集水區地質構造多為利吉層，屬泥岩沉積物，其透水性低，容易受雨崩塌侵蝕，造成地表裸露，大量泥砂隨雨水至下游沉積，增加細顆粒來源，冬旱季逢東北季風吹襲，河道易發生揚塵危害。

萃取卑南溪利吉層裸地及保水區位，並繪製集水區管理分區，優選適宜區位設置沉砂設施，截留野溪坑溝源頭點源沖蝕土砂，透過 InVEST 模式評估沉積物保持，對減緩河川揚塵危害效益，並進一步結合現有資源，營造具灌溉、保育、防災、景觀與生態等多功能設施。

二、材料與方法

(一)研究樣區

卑南溪為臺灣東南部第一大河川，也是臺灣東部主要河川之一，發源於中央山脈卑南主峰(標高 3,293 公尺)，循天然山谷東流，於海端鄉新武村下游會合支流新武呂溪，並於初來附近出谷；至池上南方受海岸山脈之阻擋，轉沿海岸山脈南走，於瑞源、鹿野東南郊分別收納鹿寮溪及鹿野溪兩大支流後，經山里、利吉河谷、卑南及岩灣，最後由臺東市北邊注入太平洋；全長約 84 公里，平均坡度約 1/141，流域面積約 1603 平方公里，卑南溪集水區範圍如圖 1 所示。



圖 1 卑南溪集水區範圍

卑南溪流域雨量充沛，各岩層之風化產物隨水流由上游搬運至下游並堆積於河口段。尤以利吉泥岩顆粒細小、沖蝕嚴重，颱風豪雨期間，隨洪水沖刷至下游，俟水位逐漸消退後沉積於高灘河床，旱季逐漸乾枯致大面積裸露，經東北季風沿河道吹向下風處，為揚塵砂源。

(二)研究材料

Millennium Ecosystem Assessment (2005) 定義生態系統服務是”人類自生態 環境所得之益處”，現今對於自然資本 (natural capital) 了解甚少且沒有監控，為了 量化生態系統服務作為決策依據而法展 InVEST 模式。研究樣區數值高程模型 (DEM)、土地利用圖資及裸地圖資蒐集及用途。

表 1 基本圖資

基本圖資	時間	空間解析度	來源	用途
數值高程模型	2004	5m×5m	內政部	窪蓄區位萃取
土地利用圖資	2008	1/5000	國土測繪中心	平坦地萃取
裸地圖資	2013	1/5000	林務局	裸露區位萃取

2.1.數值高程模型：採用內政部2005年解度網格大小為5m × 5 m 之DEM資料，篩選坡度小於5%之土地，以地形分析集水區窪蓄區位配合土地利用扣除建地尋找保水空間與集水區劃分。本研究樣區主要坡度以三至六級坡為主，佔總面積約79.96% (表2、圖3)。

InVEST 模式是由「自然資本計畫」(The Natural Capital Project) 所研發的GIS(Geographic Information System)應用軟體，其研究團隊包含史丹佛大學伍茲環境研究所 (Stanford University's Woods Institute for the Environment)、明尼蘇達大學環境研究所 (University of Minnesota's Institute on the Environment)、美國自然保育協會(The Nature Conservancy)、以及世界保護野生動物基金會 (World Wildlife Fund for Nature)

表2 坡度分布統計表

分級 (坡度 (%))	網格	面積 (ha)	比例 (%)
一級坡 (<5)	315719	789.30	7.14
二級坡 (5~15)	406786	1016.97	9.20
三級坡 (15~30)	995981	2489.95	22.53
四級坡 (30~40)	820247	2050.62	18.56
五級坡 (40~55)	854344	2135.86	19.33
六級坡 (55~100)	863469	2158.67	19.54
七級坡 (>100)	163703	409.26	3.70
	總和	11050.62	100.00

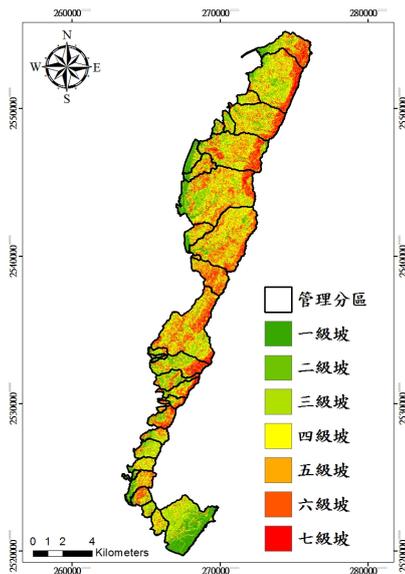


圖3 坡度分布

2.2. 土地利用圖資

土地利用圖資為2008年內政部國土測繪中心之圖資，卑南溪集水區林地（含闊葉林及其他林地）面積計8,461.33公頃共佔全集水區76.57%，其中農作使用為1,323.31公頃

約佔11.97%，建地使用562.51%約為5.09公頃，其餘土地利用703.48公頃用佔全部6.36%(表3)。

表3 土地利用分類統計

土地利用類型	面積 (公頃)	面積百分比 (%)
建地	562.51	5.09
地表水	173.95	1.57
旱田	227.52	2.06
公園	1.53	0.01
荒地	300.48	2.72
水田	303.97	2.75
果園	1019.34	9.22
闊葉林	866.17	7.84
其他林地	7595.16	68.73
總合	11050.62	100.00

2.3. 裸地圖資

採用林務局委託成功大學以102年度（1~7月）全島鑲嵌福衛二號衛星影像建立的自動判釋崩塌地作業標準所繪製之崩塌地圖，推估集水區裸露區位。

(三)研究方法

InVEST 模式是由自然資本研究 (The Natural Capital Project) 所研發的 GIS 應用軟體，其研究團隊包括史丹佛大學伍茲環境研究所、明尼蘇達大學環境研究所、美國自然保育協會以及世界保護野生動物基金會，總共四個研究單位 (蕭戎雯, 2013; Tallis et al., 2010)，服務內容涉及土地利用規劃、海洋空間計畫、策略環境評估、生態系統服務功能評價、氣候適應策略及減緩抵償交

易等面向。

InVEST 模型具有多層級、多模型的特點，主要分為 0 至 3 層四個層級模型 (InVEST User Guide)，目前國內外研究應用最廣泛的為 0 層和 1 層，如產水量模型、沉積物保留模型和碳存量模型等。Costanza 等 (1997) 認為侵蝕控制和沉積物保留是生態系統服務功能的重要內容。表 4 為沉積物保留模型數據輸入及輸出匯整 (InVEST User Guide)。

表4 沉積物保留模型數據要求及輸出匯整

Sediment Retention Model: Avoided Dredging and Water Quality Regulation (Tier 1)				
Required	Supply	Land use/land cover	Calculates generation and retained sediment at pixel Scale using USLE and routing	Mean annual erosion (tons/watershed/yr, tons/pixel/yr) Mean annual sediment retention (tons/watershed/yr, tons/pixel/yr)
		Rainfall erosivity		
		Soil erodibility		
		Crop factor		
		Management factor		
Required	Reservoir Service	DEM	Subtracts sediment loads in reservoir dead volume	Mean annual generate and retained Sediment loads (tons/watershed/yr)
		Sediment retention efficiency for each LULC		
		Slope threshold(%)		
		Flow accumulation threshold		
Required	Treatment Plant Service	Reservoir dead volume(reservoir points of interest)	Calculates present value of dredging costs	Annual average Sediment retention of Value to water Treatment plants
		Subwatershed and Watershed shapes		
		Allowed sediments load in rivers(TMDL, Etc.)		
Optional	Avoided Dredge Value	Mean annual dredging cost(Currency)	Calculates present value of dredging costs	Avoided dredge costs (currency/watershed/yr) Currency/pixel/yr
		Lifespan(years)		
Optional	Avoided Treatment Value	Discount rate(%)	Calculates present Value of treatment costs	Avoided treatment Costs (currency/watershed/yr) Currency/pixel/yr
		Mean annual sediment removal cost (Currency)		
		Lifespan(years)		
		Discount rate(%)		

(資料來源：InVEST User Guide)

萃取卑南溪利吉層裸露及保水區位(係指以自然土層及人工土層涵養水分及貯留雨水的力量之位置、處)，並依據區域性水土保持技術規範以 10 公頃作為門檻值，配合水系網分布，將各子集水區再細分為源頭、左岸及右岸等三個坡面區位進行管理分區編碼，繪製集水區管理分區，優選具營造條件之區位模擬設置沉砂滯洪設施，利用 InVEST 模式分析其截留野溪坑溝源頭點源沖蝕土砂之效益，正本清源，減緩河川揚塵危害。

3.1.保水區位萃取

以數值高程模型坡度篩選坡度小於 5% 之土地、分析集水區窪蓄區位配合土地利用扣除建地找尋保水空間。

3.1.1 潛在窪蓄區位萃取

建立窪地初步流向係利用 Jenson and Domingue (1988) 提出之高差法結合斜面法，再以門檻值或源頭追跡法萃取水系網，並由 DEM 資料計算周圍網格高程差，水系網中下游網格高程大於上游網格者視為窪蓄區位 (圖 4)，可知窪蓄區位之面積、深度及上游集水區面積。

天然窪蓄區位依其位置可分為河道型及坡面型，河道型窪蓄區位係指窪蓄區位位於河道上者，此種區位多營造為滯洪壩或滯洪池；而坡面型窪蓄區位指位於河道以外之窪蓄區位則歸之，此種區位多營造為沉砂滯洪設施。河道型窪蓄區位僅能以滯洪設施營造，其目的為延遲逕流排放或減少洪峰流量，而坡面型窪蓄區位則可保水蓄洪，即收納逕流減少逕流排放至下游，可減輕集水區出口下游水患。

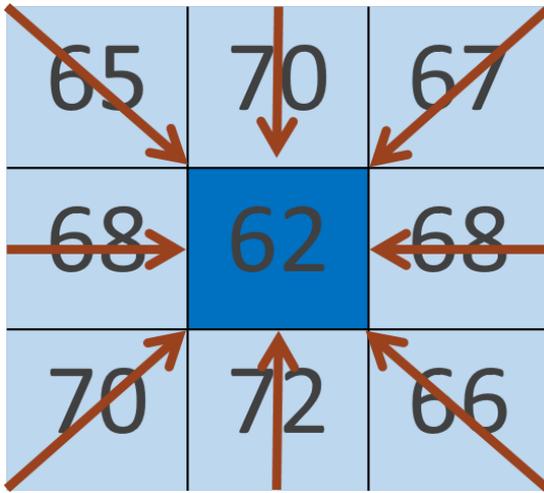


圖 4 窪蓄區位計算原理示意圖

3.1.2 平坦地萃取

平坦地為重要儲存逕流區位，然並非所有土地利用皆為適當儲存區位，平坦地萃取，採用內政部國土測繪中心土地利用調查資料，將交通、建築、公共設施及遊憩等用地圖資排除，而保留農業及森林等用地圖資，並萃取坡度緩於 5% 以下區位，作為逕流儲留區位，最後以現地調查進行驗證。平坦地面積利用國土測繪中心的土地利用及坡度萃取後，即可得沉砂滯洪池可營造平坦區位。

3.2 管理分區

運用集水區自動劃分理論之 Jenson and Domingue 方法 (1988) 建立無窪地流向，再以 O'Callaghan and Mark (1984) 建立各網格之累積流量；網格之累積流量為上游流入該網格之累積數量，而累積流量差值係計算網格與其下游網格累積流量之差。若網格之累積流量差值大於或等於使用者給定門檻值，

則指定該網格為集水區出口，向上游進行追蹤可得集水區範圍。

經由上述之保水空間萃取及精確度評估後，採用集水分區方式將保水空間進行劃分，並配合水系網分布，將各子集水區再細分為源頭、左岸及右岸三個坡面區位 (圖 5)，其中源頭區域係指子集水區內最上游水系網格所包含之累積流量範圍，左、右岸則為野溪左、右兩岸區域，相同坡面可視為地形均質區域。

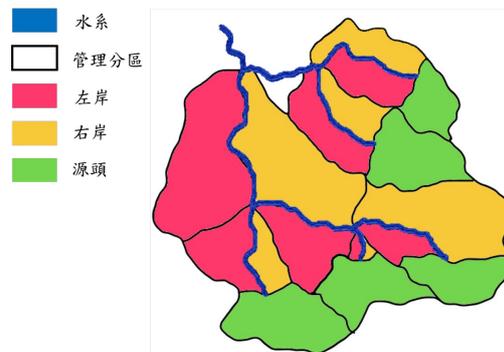


圖 5 管理分區劃定示意圖

3.3 群集分析

為利於篩選重點營造區位，藉由群集分析 (K-means) 將管理分區依裸地面積及保水空間進行分群，依數值高低，將裸地面積及保水空間依序分為大、中及小 3 此類。由裸地面積排序及保水面積排序之空間分布套疊可得重點營造區位之空間分布。以管理分區之裸地面積排序代表其管理之優先順序，裸地

面積排序大者為應優先治理區位(圖6、圖7)。

3.4 效益評估

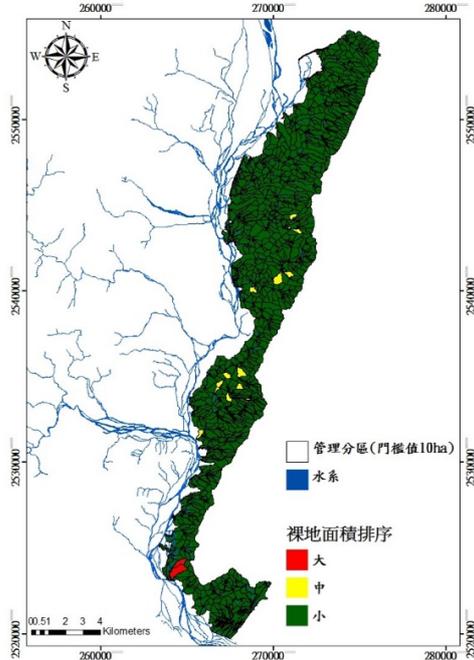


圖 6 裸露面積排序空間分布

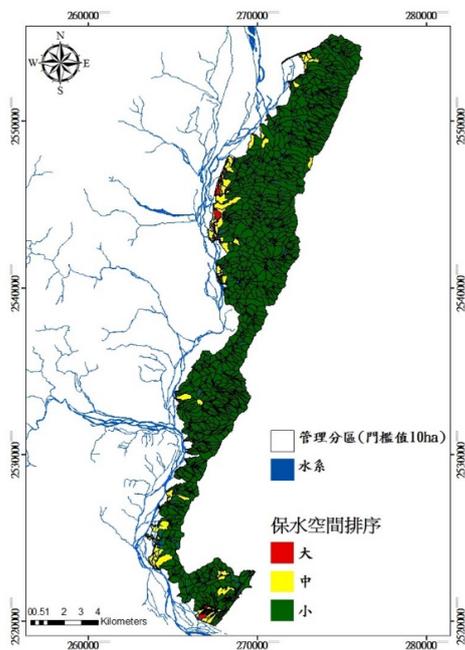


圖 7 保水空間排序空間分布

InVEST 沉積物保留模型主要為描述土壤侵蝕和流域輸砂過程，河川泥砂的主要來源包括流域地表侵蝕、上游河道沖刷、河岸侵蝕及重力侵蝕，而影響集水區泥砂遞移的主要因素包括氣候(尤其是降雨強度)、土壤、地形地貌、植被及農業生產、水中構造物修築與營運等人為活動，泥砂淤積類型則包括坡面逕流泥砂沉降、河岸灘地沉積或河道沉積及水庫淤砂。土地利用類型變化對集水區土壤侵蝕量具有重大影響，其影響程度取決於主要土壤侵蝕類型、泥砂來源和淤積空間分布 (InVEST User Guide)。使用沉積物保留模式輸入之圖資及參數包含數值高程模型、降雨沖蝕指數、土壤沖蝕指數、土地利用 (土地覆蓋) 等 (表 5)。探討卑南溪集水區利吉層在配置沉砂滯洪設施情境下，評估沉積物保留能力，提供管理單位決策服務，改善揚塵，為本文要解決的關鍵問題。

表 5 沉積物保留模式圖資及參數

資料	來源	用途/參數
數值高程模型	國土測會中心 2004 年 (5m*5m)	集水區邊界
土地利用圖資	內政部國土繪測中心 2008 年繪	土地覆蓋
水文年報	氣象局 (10 年之統計資料) 1999-2008 年 台東 (7)	年降雨量
台東降雨沖蝕指數	水土保持手冊 2005 年版	7336
卑南土壤侵蝕指數	水土保持手冊 2005 年版	0.0237

沉積物輸出模式依據不同土地利用類別來計算年土壤流失，InVEST 模式採用之計算方式為通用土壤流失公式 (Universal Soil Loss Equation, USLE)，計算單位為網格，對於每個網格，該模型首先計算沖蝕量之大小，然後計算其泥砂遞移率 (Sediment Delivery Ratio, SDR)，泥砂遞移率 (SDR) 是土壤流失量實際到達集水區出口之比例，實際到達集水區出口之泥砂量稱為泥砂產量，該方式由 Borselli et al. (2008) 提出，近年來得到越來越多的關注。估算土壤流失主要是根據地形學以及氣象情況，可同時結合土地利用格局，高程資料，降雨與氣候資料。

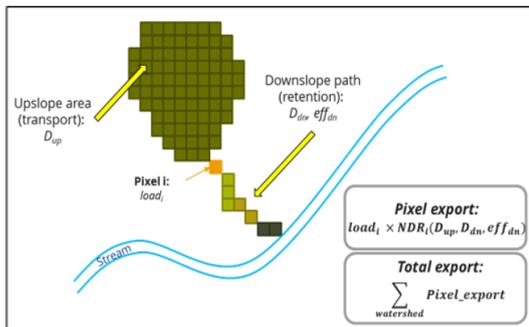


圖 8 沉積物輸出模式概念示意圖(摘自 InVEST User Guide)

(每個網格單元的泥砂遞移率即為集水區某一點的泥砂與該點以上集水區內侵蝕總量之比)

經研究樣區選定後，再經由數值高程模型、土地利用現況、裸地圖資等圖資資訊判讀後，經初步選定優選營造區位，藉由 InVEST 模式進行效益評估，其本研究之研究流程圖如圖 9 所示。

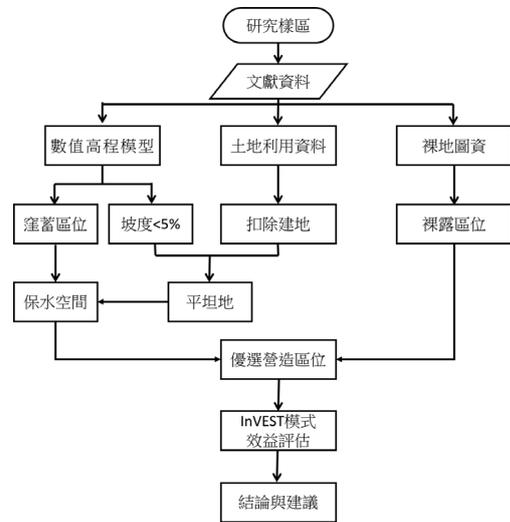


圖 9 研究流程圖

三、結果與討論

(一)管理分區分布

將萃取裸地區位及保水區位進行編碼，由於保水區位之營造亦須有集水區概念，因此編碼時以流域為單元，進行管理分區劃分，依據區域性水土保持以 10 公頃作為門檻值，配合水系網分布，將各子集水區細分為源頭、左岸及右岸三個坡面區位，將同一管理分區之裸地及保水空間編為同一號碼 (圖 10、圖 11)，表示宜同時營造之區位，編碼後則可對各流域之裸露及保水區位之面積進行統計。

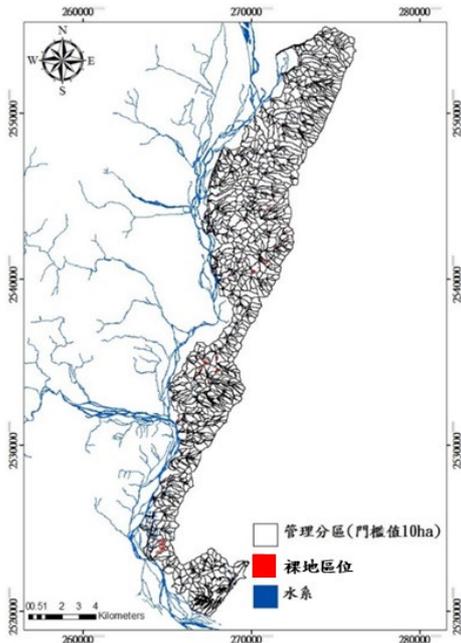


圖 10 裸地區位編碼

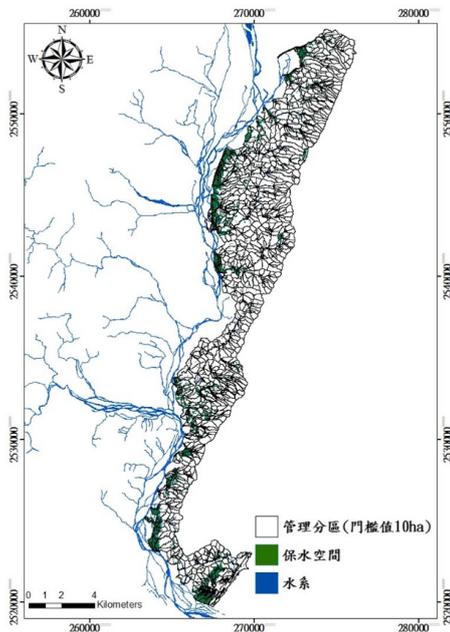


圖 11 保水空間編碼

(二)裸地區位篩選結果

集水區裸地區位越多，則產生之超滲降雨與沖蝕泥砂可能性越高，為能儲蓄因裸地造成之超滲降雨及泥砂，營造保水空間有其必要性。經篩選結果卑南溪集水區利吉層區位裸地面積計 95.7 公頃，由圖 12 可知，裸地區位分散於集水分區上、中、下游，因此各支流匯入緩坡時堆積處為揚塵源頭治理之熱點區位。

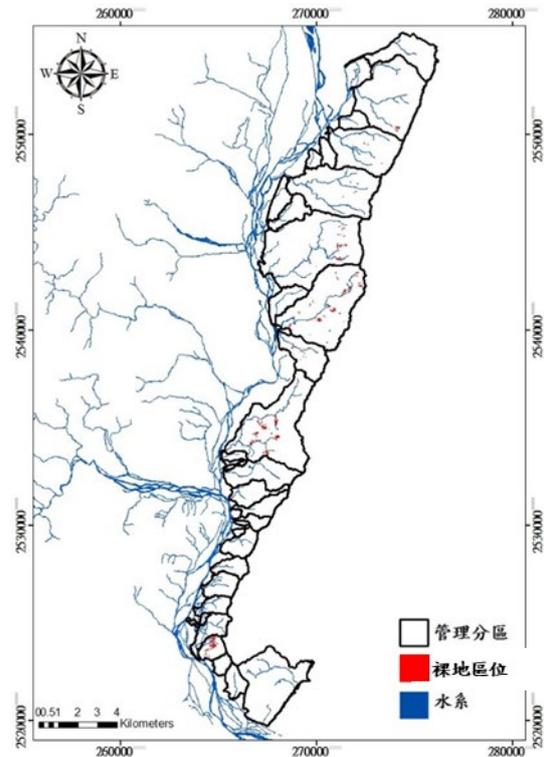


圖 12 裸地區位

(三)保水區位篩選結果

卑南溪集水區窪蓄區位多數集中在各集水分區出口處，其空間分布如圖 13。另透過

土地利用圖資，將建地相關區位排除，保留農作、天然林、草地等區位，並配合坡度小於5%，依地形與土地利用特性，萃取平坦地區位，空間分布如圖 14，顯示可營造平坦地多集中於陡坡與坡腳平坦地交接處。

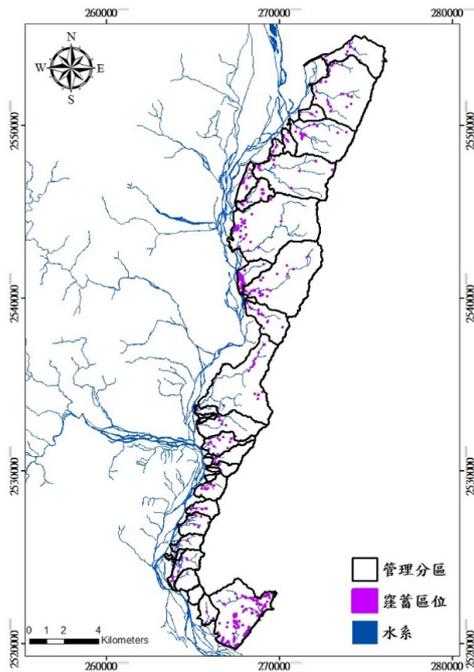


圖 13 窪蓄區位空間分布

由窪蓄區位空間分布（圖 13）及平坦地空間分布(圖 14)套疊可得保水空間(圖 15)，保水空間較少之區位主要位於集水分區上游，係較為陡峭之區位，至於中、下游地區因平坦地較多，水流易於匯集，致集水分區下游處保水空間較多。

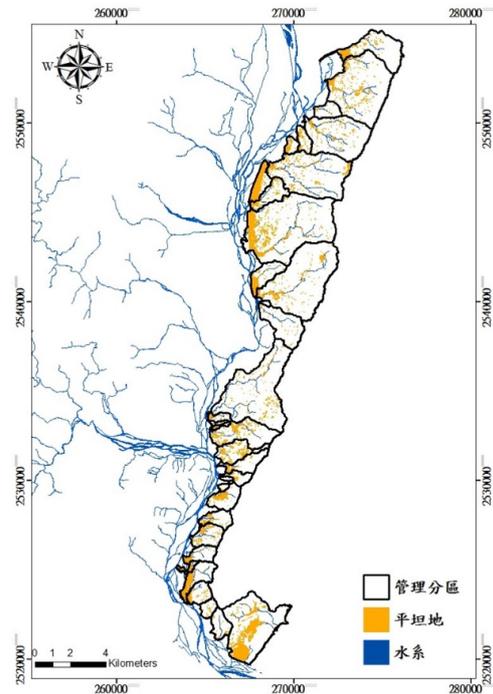


圖 14 平坦地空間分布

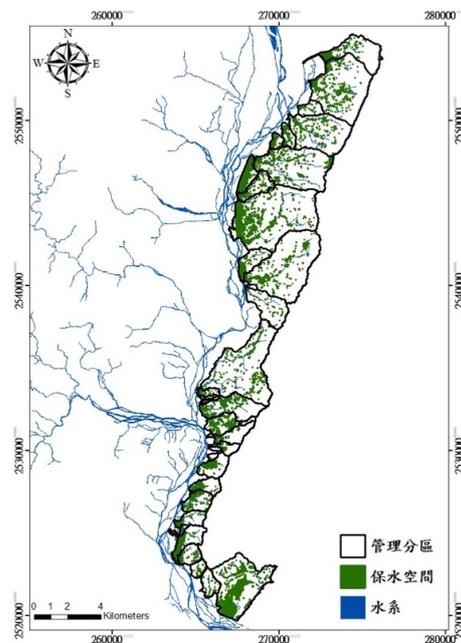


圖 15 保水區位空間分布

為利於篩選卑南溪之重點營造區位，將管理分區之裸地面積及保水面積，以群集分析方法進行分類，並依數值高低，將裸地及保水面積依序分為大、中、小 3 類（圖 16、圖 17）。管理分區之裸地面積大，為分區內崩塌面積大，故分區內需較大之營造保水空間，由圖 16 結果顯示，分區之裸地面積排序大者，主要分布於下游區位，而分區之裸地面積排序小主要分布於上游區位，主要原因為下游開發度較高，致使裸地面積較大。管理分區之保水面積排序大，為分區內可保水的空間較大，由圖 17 結果顯示，分區之保水面積大主要分布於集水分區下游，而分區之保水面積小主要分布於上游區位，主要原因為上游坡度較為陡峭，故保水之面積較少。

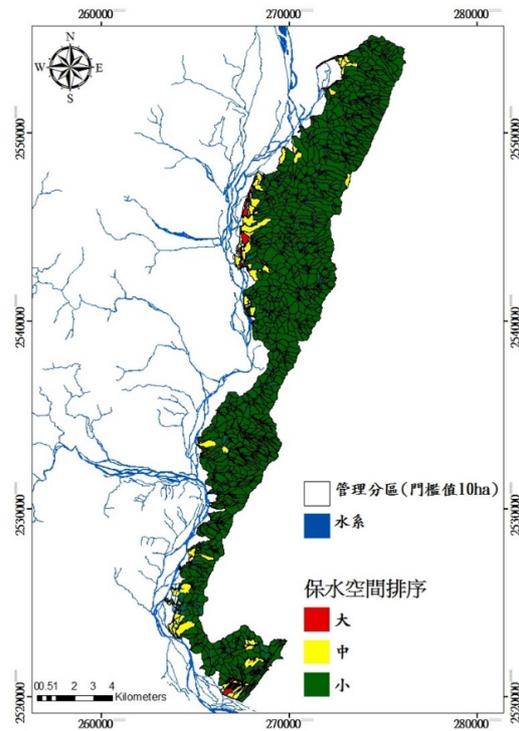


圖 17 保水面積排序之空間分布

由裸地面積排序空間分布（圖 16）及保水面積排序空間分布（圖 17）套疊可得重點營造區位之空間分布（圖 18），管理分區之裸地面小，但保水面積大者，特性為具有較大保水空間，且保水的空間較大，其營造排序可列入暫緩處理；裸地面積中等，但保水面積小者，特性為具有小的保水空間，應列為需要處理區位；由圖 18 結果顯示，管理分區之裸地面積大，且保水面積小，主要分布於下游區位，應列為優先加強管理區位。

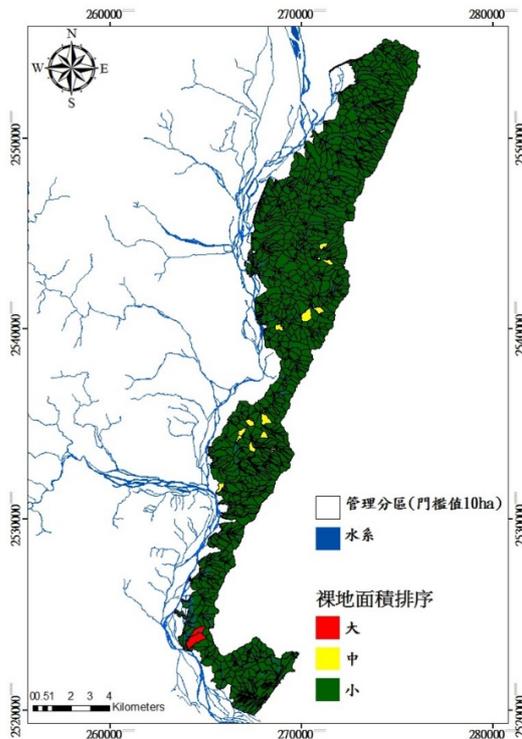


圖 16 裸地面積排序之空間分布

蔡淑芬、李世冠、楊信凱：
以陸源物質傳輸方法研擬河川揚塵源頭治理對策-以卑南溪流域為例

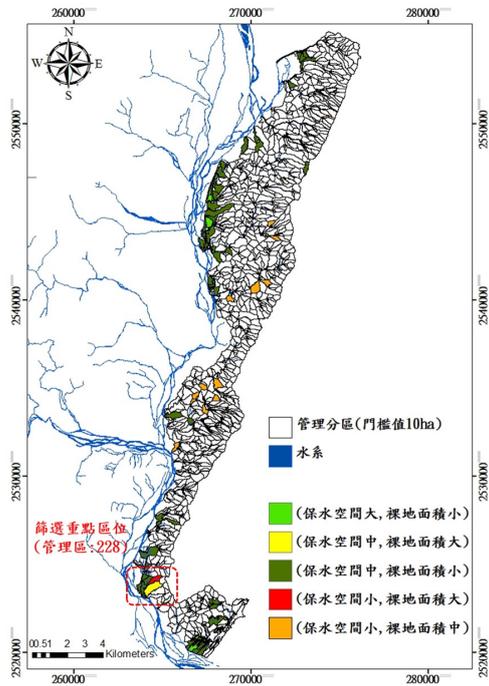


圖 18 重點營造區位之空間分布

卑南溪受上游地層構造影響，導致下游河床易堆積較細塵土，當東北季風或颱風過境時，於下風處的臺東市區將遭受嚴重的揚塵危害。若以河道沿岸萃取保水面積區位，以既有水田或設置沉砂滯洪設施串聯，除可提供保水功能外，亦可收納上游土砂淤積河道，並改善卑南溪揚塵問題。藉由裸地區位及保水面積萃取，篩選優先加強管理營造區位（管理分區:228）（圖 19），由國土測繪中心圖資服務雲確認區內實際土地使用為山坡地保育區林業用地（圖 20），並配合衛星影像套疊河川區域範圍圖（圖 21）盤點現有區排設施串聯的可行性，營造收納上游土砂設施，以有效減少下游細顆粒土砂供給來源，達抑制揚塵之功效。

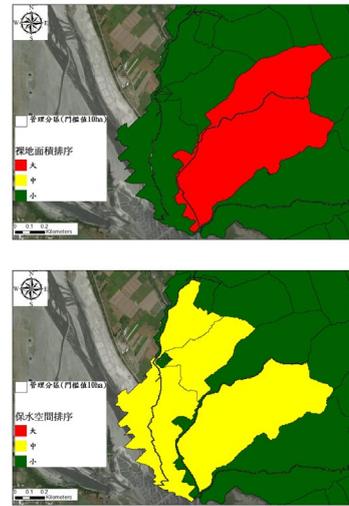


圖 19 重點營造區位位置分布



圖 20 土地使用分區

(資料來源：國土測繪中心，2018/05)



圖 21 卑南溪揚塵危害區位關係

(資料來源：google earth，2017/10/01)

(五)情境配置分析

篩選利吉惡地質公園（管理分區:228）為重點營造區位（圖 22），圖 22 中 A 區泥岩邊坡裸露嚴重，且有逐漸擴大趨勢，當降雨時裸露泥岩邊坡細顆粒土壤會隨著逕流順流而下，並覆蓋坡腳，導致鄰近植物無法生長；B 區顯示為平坦地受水蝕影響嚴重，造成地面形成高低差，並且從下游區位明顯看到孔洞或管路，此現象屬於典型的滲流沖蝕（Seepage erosion），為地下特殊沖蝕之一；而 C 區有明顯結殼現象，主要受雨滴衝擊後，堵塞土壤孔隙，使地表土壓實，形成硬殼，進而阻滯水分的入滲，促使產生漫地流；另因地形關係，造成排水不良，鹽分聚積而成，導致地表多處植生生長不易。因此可將既有裸地區位加以營造，收納沖蝕土砂、改善下游揚塵外，並營造當地保水功能與生態環境。卑南溪流域營造配置前（圖 23）主要土地利用類別可歸納為構造物、原始樹林及水域範圍，其中構造物包含建地及道路等，而營造後配置（圖 24）主要將部分草地地區位營造為水域空間，並加強水域之間串連，增加營造區位保水功能及生態棲地。

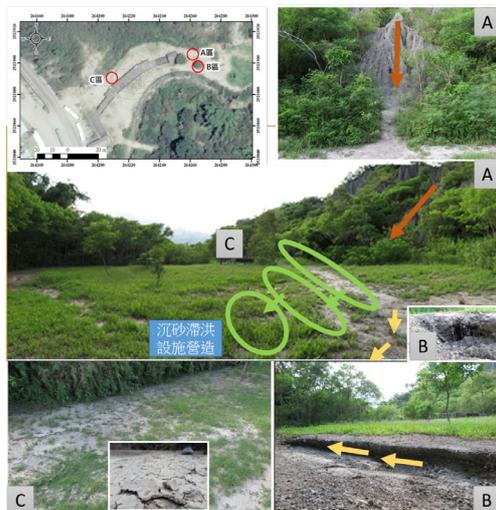


圖 22 重點營造區位現況

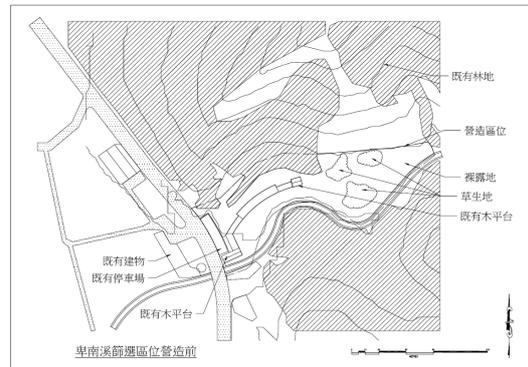


圖 23 重點區位營造配置前

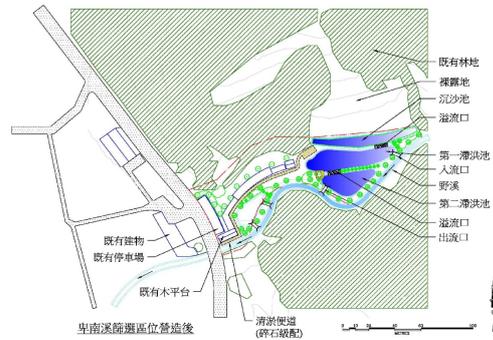


圖 24 重點區位營造配置後

(六)效益評估

經篩選重點營造區位，配置前（圖 25）主要土地利用類別可歸納為構造物、原始樹林及水域，而營造後配置（圖 26）主要將部分草地地區位營造為水域空間，並加強水域之間串連，增加營造區位其保水功能及生態棲地。



圖 25 營造區位配置前土地利用



圖 26 營造區位配置後土地利用

InVEST 利用地形、氣候與土地利用類別等資料來估計土地利用單元對土壤沉積物之輸出影響，以 InVEST 分析卑南溪管理分區編號 228，卑南溪營造區位泥砂產量分析輸入參數如表 5。為檢算營造設施攔砂之成效，各別將泥砂產量與沉砂滯洪設施可容許沉砂量分析，其中泥砂產量為 317 (m^3/yr)，而沉砂滯洪設施可容許沉砂量為 5,427 (m^3)，經演算結果營造前後泥砂產量如表 6，結果顯示顯示對集水分區泥砂抑制有顯著減緩之功效。

表 6 卑南溪營造區位泥砂產量分析輸入參數

No.	集水區面積 (ha)	裸地面積 (ha)	年降雨量 (mm)	泥砂產量 (t/ha/y)
1	0.55	0.55	1,868	463.19
2	0.46	0.46	1,868	412.36

表 7 重點區位營造前後泥砂產量之效益

營造	泥砂產量 (m^3/yr)
營造前	317
營造後	0

四、結論與建議

一、結論：

1. 卑南溪地質構造主要為利吉層，因透水性低不易入滲，易受雨蝕形成蝕溝，地表嚴重裸露。降雨逕流挾帶大量泥砂往下游輸送沉積，是卑南溪河段出海口揚塵危害事件主要土砂來源。
2. 以數值高程模型套繪土地利用及裸地等圖資，萃取卑南溪集水區裸地及保水潛勢區位，設置沉砂滯洪設施，能有效攔阻細粒土砂往下游輸送，此為源頭管制措施，有別於傳統之揚塵抑制工法。
3. 卑南溪集水區可劃分為 1,214 筆坡面管理分區，其中裸露區位 139 筆、面積約 95.7 公頃。編號 228 分區為土砂生產熱點區位之一，可營造具灌溉、防災、保育、景觀與生態等多功能沉砂滯洪設施，確保利吉地質公園設施之安全。
4. 利用 InVEST 模式檢算編號 228 分區之泥砂產量為 317m³/yr、沉砂設施可容許沉砂量為 5,427m³，顯示該沉砂滯洪設施可有效收納泥砂輸出量。

二、建議：

1. 後續可由萃取之裸地區位依優先順序配合現地盤點，分年分期營造沉砂滯洪空間，收納沖蝕泥砂，加強集水區河川源頭裸露地泥砂之控制，俾減緩河口揚塵發生潛勢。
2. 編號 228 分區配置之沉砂滯洪設施除收

納泥砂尚可蓄水供利吉地質公園植栽養護之用，另考量臺灣氣候異常強降雨造成大量泥砂運移，建議每年汛期前後應辦理清淤工作，以維持儲存空間，達到防災減災之功效。

3. 目前尚無實際沉砂量資料可供驗證，僅以模擬配置情境進行分析，其目的為利用 InVEST 模式估算泥砂，提出適合之治理方針，作為揚塵改善措施之參考。另國內利用 InVEST 模式評估沉積物保留研究甚少，邊界設定不同，分析結果不同，未來可藉由現地營造及實際量測數據進行驗證。

參考文獻

1. 內政部營建署（1998），「坡地社區安全居住手冊」。
2. 江孟玲（2016），「河川揚塵預警機制建置及抑制工法篩選之研究」，國立中興大學水土保持學系博士論文。
3. 行政院農業委員會水土保持局（2013），「水土保持技術規範」。
4. 吳培勳（2010），「濁水溪裸露地揚塵控制研究」，大葉大學環境工程學系研究所碩士論文。
5. 周元春（2009），「卑南溪河口段風吹砂治理策略研究」，國立臺東大學資訊管理學系環境經濟資訊管理研究所碩士論文。
6. 林玉紳（2010），「以生態系統管理觀念為基礎的濕地政策研究」，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論

- 文。
7. 林忠明 (2013), 「因應氣候變遷集水區水源涵養區位之優選與營造」, 國立中興大學水土保持學系碩士論文。
 8. 林俊全(1995), 「泥岩邊坡發育模式之研究」, 國立臺灣大學地理學系地理學報, 18: 45-58
 9. 林昭遠、林忠明、林政侑 (2014), 「集水區水源涵養區位優選之研究」, 中華水土保持學報, 46 (2): 975-986。
 10. 林昭遠、林政侑 (2012), 「濁水溪下游河段揚塵發生之影響因素」, 中華水土保持學報, 43 (4): 323-331。
 11. 林昭遠、張嘉琪、鄭旭涵 (2010), 「集水區窪蓄區位自動萃取之研究」, 中華水土保持學報, 42 (2) : 137-150。
 12. 林昭遠、莊智瑋 (2009), 「濁水溪揚塵潛在發生區位劃定之研究」, 中華水土保持學報, 40 (3): 277-285。
 13. 林家鉉 (2013), 「卑南溪逸散河床裸露地之無人飛行載具影像分類」, 國立高雄應用科技大學土木與防災科技研究所碩士論文。
 14. 林德貴、王勝賢、劉文宗、黃隆明 (2012), 「大安溪河床揚塵對鄰近地區之影響評估」, 中華水土保持學報, 43 (3): 239-254。
 15. 林德貴、劉昱麟、王勝賢、劉文宗 (2012), 「烏溪出海口河床裸露地之揚塵災害分析及抑制工法有效性評估」, 中國土木水利工程學刊, 24 (2): 147-156。
 16. 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」, 中華水土保持學報, 42 (2): 107-119。
 17. 涂邑靜 (2007), 「人工溼地生態淨化系統處理效能之探討-以彰化縣洋子厝溪為例」, 國立中興大學環境工程學系研究所碩士論文。
 18. 洪祖健、王勝賢、林德貴 (2014), 「河床裸露地揚塵抑制工法之有效性及其效益評估」, 水土保持研討會, 國立中興大學, pp51。
 19. 洪詮斌 (2007), 「台中大坑山坡地潛在地滑區保育治理及土地利用管理之研究」, 國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
 20. 胡勝、曹明明、張天琪、邱海軍、劉琪、劉聞, 李苒、劉全全 (2015), 「基於 InVEST 模型的小流域沉積物保留生態效益評估-以陝西省營盤山庫區為例」, 資源科學, 37 (1): 76-84。Hsu, H. H. & Chen, C. T., 2002. Observed and Projected climate change in Taiwan. Meteor. Atmos. Phys., 79:87-104.
 21. Hung, C. W. & Kao, P. K., 2010. Weakening of the Winter Monsoon and Abrupt Increase of Winter Rainfalls over Northern Taiwan and Southern China in the Early 1980s. J. Climate, 23:2357-2367.
 22. Jenson, S. K., & Domingue, J. O., 1988 Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographical

- Information System from Digital Elevation Data for Geographical Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 54 (11) , 1593-1600.
23. Leopold, L. B., 1968. Hydrology for Urban Planning— A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use. Geolog. Survey Circular 584, U. S. G. S., Washington, D.C., 1-18.
24. O'Callaghan, J. F. & Mark, D. A., 1984. The Extraction of the Drainage Networks from Digital Elevation Data. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 28:323-344.
25. Stallard, R. F., & Edmond, J. M., 1983. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. J. Geophys. Res., 88, pp. 9671-9688.
26. Tallis, H., 2010. InVEST 1.005 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.
27. Walling, D. E., & Webb, B.W., 1987. Sediment Transport in 60 Gravel-Bed Rivers. John Wiley & Sons New York, 691-723.
28. William, J., Nearing, M. A., Nicks, A., Skidmore, E., Valentine, C., King, K., & Savabi, R. 1996. Using soil erosion models for global change studies. Soil and Water Conserv. 51 (5) : 381-385.
29. Zhang, G. H., Nearing, M. A., & Liu, B.Y. 2005. Potential effects of climate change on rainfall erosivity in the yellow river basin of China. Trans. ASAE. 48 (2) : 511-517.
- 111 年 9 月 07 日收稿
111 年 9 月 12 日修改
111 年 11 月 23 日接受