



# 水保技術

水保技術

Journal of Water and Soil Conservation Technology

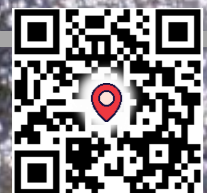
Vol.14

No.2

中華民國水土保持技師公會全國聯合會

地址：220 新北市板橋區雙十路 2 段 143 號 4 樓

TEL：02-82581918 FAX:02-82571900 <http://www.swcpea.org.tw/> e-mail:swcpea@seed.net.tw



中華民國水土保持技師公會全國聯合會暨

臺灣省水土保持技師公會 臺北市水土保持技師公會 新北市水土保持技師公會  
臺中市水土保持技師公會 高雄市水土保持技師公會 聯合出刊

# 水保技術

ISSN 1998-2275

第14卷 第2期

2020.07

水土保持技師從事水土保持相關之調查、規劃、設計、  
監造、研究、分析、試驗、評價、鑑定、施工及養護等業務

發行人：郭玉麟  
出版者：中華民國水保技師公會  
全國聯合會  
會址：新北市板橋區雙十路2段  
143號4樓

網址：<http://www.swcpea.org.tw/>  
電話：(02)8258-1918  
(02)2254-4483  
(02)2253-8151  
(02)8258-5680  
傳真：(02)8257-1900  
(02)2250-0061

主編委員：吳正義  
編輯委員：劉衍志、吳烘森、鍾東宏

編輯助理：曾文萱  
本刊為季刊，每年出版四次  
本刊版權為水保技師公會所有  
訂閱費：每期新台幣 100 元  
(國外郵資另加)

印刷者：吉祥數位印刷社  
地址：台南市育樂街 55 號 1 樓

電話：(06)2368-880  
傳真：(06)2345-085

Publisher: Yu-Lin Kuo  
Publication Office: The Union of Soil and Water  
Conservation Professional  
Engineer Associations  
Address: 4F., No.143, Sec. 2, Shuangshi  
Rd., Banqiao Dist., New  
Taipei City 220, Taiwan  
(R.O.C.)

Web Site: <http://www.swcpea.org.tw/>

Tel: +886 2 8258-1918  
+886 2 2254-4483  
+886 2 2253-8151  
+886 2 8258-5680

Fax: +886 2 8257-1900  
+886 2 2250-0061

Chief of Editor: Cheng-Yi Wu

Board of Editor: Yen-Chih Liu, Hong-Sen Wu,  
Dung-Hung Chung

Assistant Editor: Wen-Hsuan Tseng

This journal is published quarterly.

Institutional subscription fee: NT\$100

Print: Ji Xiang Publishing Inc.  
Address: 1F., No.55, Yule St., East  
Dist., Tainan City  
70145, Taiwan (R.O.C.)

Tel: +886 6 2368-880

Fax: +886 6 2345-085

本刊文責由作者自負，版權概屬本會所有。未經本會同意，禁止翻印或轉載。

# 水保技術

「水保技術」四字為鄭燮墨跡。鄭燮，字克柔，號板橋，清朝官員、學者、書畫家，擅長畫竹。鄭燮為官清廉，後因老病罷官客居揚州，身無長物，僅寥寥幾捲圖書隨身，賣畫為生。鄭燮為「揚州八怪」之一，其詩、書、畫被世人稱為「三絕」，以篆、隸、草、行、楷等各種書體的字形，並以蘭草畫法入書，形成有行無列、疏密錯落的書法風格，創造了「六分半書」的書體，後人亦稱之為「板橋」體。

鄭燮注重對自然和周圍事物的觀察，師承自然，與水土保持著重於自然變化、演替、行為相同。借板橋體書本刊刊名，實有見微知著、體察民需、難得糊塗之寄情，亦是對水土保持從業人員與學者之期許。



封面介紹：烏石坑長榮橋上游防砂壩加強工程，該工程位於台中市和平區烏石坑長榮橋上游，因歷年颱風豪雨時水流湍急沖刷力大致使既有防砂壩產生基礎掏空及壩體溢洪口損壞，為免損害擴大危及下游保全對象安全，因此針對既有副壩以緩坡化進行修復，另考量枯水期流量，於緩坡固床工中央以魚鱗狀階梯集中水流、跌降消能並營造豐富視覺景觀效果亦可增加水中含氧量，以達到安全、景觀、生態等多方面成效。

封面照片提供：林彥伯技師

# 目錄

## 人物專訪

- 4 臺灣省水土保持技師公會 創會理事長-鄭麗瓊技師

## 學術論文

- 8 臺灣南部地區降雨沖蝕指數之研究  
- 李明燾 王奕傑 莊純宛
- 28 臺灣南部山坡地土壤沖蝕指數之建立與分布  
- 陳俊元 簡士濠

## 技術論文

- 38 英國農場可再生能源的成本・收益和限制：對台灣的可能  
影響  
- 蔡驩曦
- 60 瓦魯斯溪集水區調查分析  
- 蕭國亮 林彥志 童遠欽 洪政義
- 82 水保新利器 - BigGIS 整合山坡地航遙測圖資增值與應用  
- 吳振佑 陳振宇 許忻志 柯明勳 劉正千

## 評析專欄

- 92 109 年 3 月 3 日 水土保持技術規範有關規劃設計修正重  
點說明  
- 吳正義

## 活動花絮



臺灣省水土保持技師公會 創會理事長 鄭麗瓊技師



## 人物專訪

臺灣省水土保持技師公會 創會理事長 鄭麗瓊技師

曾文萱 記錄／整理  
日期：2020年4月27日

臺灣省水土保持技師公會係於民國八十四年八月八日，依人民團體法規定，假國立中興大學水土保持系召開成立大會，並於民國八十四年八月二十四日由台灣省政府獲准成立。

改版後的第三期人物專訪，很榮幸能邀請到推動公會事務不遺餘力、貢獻良多的鄭前理事長，與我們聊聊創立臺灣省水土保持技師公會期間所遇到的艱辛過程，以及對公會後輩的期許。



草創時期，公會雖然面臨各種困難及攻擊，但冥冥之中，像是有上帝在背後指引，遇見阻礙都能迎刃而解。

於民國 82 年，我在加拿大連續生了好多場病，在生病期間很照顧我的朋友，正好計劃在飛往澳洲途中，於臺灣短暫停留，我也因此返臺招待他們。由於女兒當時在加拿大，年紀已大到無需我照顧，於是返臺後，我也開始有了找工作的打算，雖然外子擔心以我當時年齡，在臺灣應該很難找到工作，但恰巧某日於中華水土保持學會年會上，前水土保持局局長 吳輝龍博士聽聞我在找工作的消息，舉薦我至學會擔任技術部主任，與此同時，同班同學推薦我到亞新工程顧問股份有限公司工作，葛錦昭老師則是介紹我至中興工程顧問股份有限公司上班，有趣的是這兩家公司，剛好都離我家很近，中興工程位於我們家巷尾，而亞新工程則是在我們家對面。種種考量下，最後我決定至亞新工程顧問股份有限公司上班，在亞新工作很愉快，大家都對我非常好。水土保持法於民國 83 年 5 月公布後，我開始積極規劃成立水土保持技師公會，但當時有技師執照的人，幾乎大部分都任職於公務機關，無法加入公會，直到民國 84 年，魏迺雄、魏新洵、陳本康.....等技師陸續加入，才順利找齊七個人申請成立公會。民國 86 年公會於南京東路五段 40 號成立會址，公會創始初期也承蒙吳輝龍局長幫了很多忙。



在創立公會的過程中，我做事向來都是嚴謹以待，目前水土保持計畫格式、內容、編排及撰寫方式都是我們當初所訂的規定，至此奠定水土保持計畫有同一格式、標準可遵循。民國 86 年 8 月 18 日早上，溫妮颱風造成林肯大郡崩塌災變，當時政府委託各公會鑑定，公會雖然人數不多，但做出來的鑑定報告，不光是臺北縣政府肯定，連中央大學田永銘教授也讚譽有加。這就是我的個性、我做事的方式，既然要做，就一定要做到最好。同時，我也一直不斷強調、要求公會會員也就是技師們，面臨問題時，要踏實的按照步驟將其弄清楚，否則是沒有辦法確實解決問題進而完成工作的。

雖然公會從草創時期，就不斷面臨各種困難及攻擊，但是冥冥之中，像是有上帝在背後指引，遇見阻礙都能迎刃而解。



**協助政府於921震災期間，動員公會全體水保技師，參與重建區土石流源頭治理工作。**

除了致力推動公會事務外，於921震災期間，鄭前理事長也率領公會技師，參與921重建區土石流及崩塌地源頭緊急水土保持處理計畫，協助政府辦理重建區土石流源頭治理工作。鄭前理事長提及，921大地震後，山坡地的崩塌及鬆動的土砂造成土石流發生的頻率大為增加，政府提倡整治土石流災害應從源頭做起，只要將裂縫以植生包填實，防止逕流流入裂縫，就可降低崩塌、地滑的機率，甚至能降低與避免土石流災害發生。

**期許後輩技師從事水土保持相關規劃設計工作，除應兼顧自然生態外，也要不斷培養、增進環境意識與自身美學涵養，讓水土保持設施成為基地的亮點所在。**

由於外子工作的關係，我去過許多國家旅行。在國外常看到許多水土保持設施，除了與生態環境融合外，同時還能兼具美學。譬如：將擋土牆的洩水孔處架設花架，既不會造成擋土牆青苔、藻類橫生，又兼具設計美感，因此，要如何不讓水土保持設施變成環境中的障礙物，應不斷增進環境意識與自身美學涵養，多觀察及思考不同的解決方案，這是公會技師需要不斷反思且重視的課題之一。若有機會，我很樂意分享在國外所看到的案例，盼大家能更進一步的思考與討論，如何讓水土保持設施，成為基地中的亮點。





## 臺灣南部地區降雨沖蝕指數之研究

### Study on Rainfall Erosivity Index in Southern Taiwan

李明熹<sup>1</sup>、王奕傑<sup>2</sup>、莊純宛<sup>3</sup>

Ming-Hsi Lee<sup>1</sup> Yi-Jie Wang<sup>2</sup> Chun-Wan Chuang<sup>3</sup>

1. 國立屏東科技大學水土保持系 副教授
2. 國立屏東科技大學水土保持系 碩士生
3. 國立屏東科技大學水土保持系 研究助理

1. Associate professor, Department of Soil and Water Conservation,  
National Pingtung University of Science and Technology, Neipu, Pingtung, Taiwan.

2. Graduate student, Department of Soil and Water Conservation,  
National Pingtung University of Science and Technology, Neipu, Pingtung, Taiwan.

3. Research Assistant, Department of Soil and Water Conservation,  
National Pingtung University of Science and Technology, Neipu, Pingtung, Taiwan.

#### 摘 要

近年來臺灣地區極端降雨事件逐漸增加，使得降雨型態與降雨沖蝕指數隨之變化，因此重新修訂降雨沖蝕指數以符合現今氣候狀況為相當重要的議題。本研究蒐集南部地區17年(2002年至2018年)共91個中央氣象局雨量站之10分鐘降雨資料，分析各雨量站之年平均降雨沖蝕指數，建立各雨量站四季(春、夏、秋及冬)、乾濕季及年平均降雨沖蝕指數與降雨量之回歸關係式，建立不同重現期距之降雨沖蝕指數，並繪製降雨沖蝕指數空間分布等值圖，以提供水土保持相關從業人員之參考。

**關鍵字：**降雨沖蝕指數、回歸關係式、空間分布等值圖

#### Abstract

In recent years, the rainfall characteristics and rainfall erosivity index have changed due to the increase of extreme rainfall events in Taiwan. Therefore, it is an important issue to revise the rainfall erosivity index to conform to the current climate. This study collected 10-minute rainfall data from 91 stations of the Central Weather Bureau in the southern region for 17 years (2002 to 2018) and analyzed the annual average rainfall erosivity index of each rainfall station. The regression equations between the average rainfall erosivity index and rainfall were established for four seasons (spring,



summer, autumn and winter), dry and wet seasons, and each year. The rainfall erosivity index of different return periods was also established. The contour map of the spatial distribution of rainfall erosivity index was drawn. The results of this study can be provided to practitioners related to soil and water conservation as an important reference.

**Key Word: rainfall erosivity index, regression equation, spatial distribution contour map**

## 一、前言

目前臺灣所使用的降雨沖蝕指數係依據黃俊德(1979)利用8處測候所20年(1957年至1976年)的日卷自記雨量記錄及全臺灣200個雨量站的月雨量資料，利用 Laws 及 Parson(1943)的降雨動能公式及 Wischmeier and Smith(1958)的降雨沖蝕指數公式，所訂定之年平均降雨沖蝕指數，但由於氣候變遷的影響，使得近年來臺灣地區破紀錄之極端降雨事件逐漸增加(吳宜昭等人,2016)，造成降雨沖蝕指數亦有所改變，Takahiro et al.(2013)、Mondal et al.(2016)等研究均指出隨著降雨特性的改變，雨滴分離和攜帶土壤顆粒之能力亦會增加，降雨沖蝕指數會因而改變。盧昭堯等人(2005)、范正成等人(2009)、楊斯堯等人(2010)、蘇志強等人(2016)等研究亦發現臺灣年平均降雨沖蝕指數隨著極端降雨事件的增加有增大之趨勢。綜合上述學者的研究成果顯示，重新分析降雨沖蝕指數以符合現今氣候狀況為目前不可忽視之課題。

本研究蒐集南部地區17年(2002年至2018年)共91個中央氣象局雨量站之10分鐘降雨資料，分析各雨量站之年平均降雨沖蝕指數，建立各雨量站四季(春、夏、秋及冬)、乾濕季及年平均降雨沖蝕指數與降雨量之回歸關係式，利用水文分析方法建立不同重現期距之降雨沖蝕指數，並繪製降雨沖蝕指數

空間分布等值圖，提供水土保持相關從業人員作為參考。

## 二、材料與方法

### 2.1 研究區域

本研究區域包括南部3個縣市(臺南市、高雄市及屏東縣)，91個中央氣象局雨量站位置分布及基本資料如圖1及表1所示。

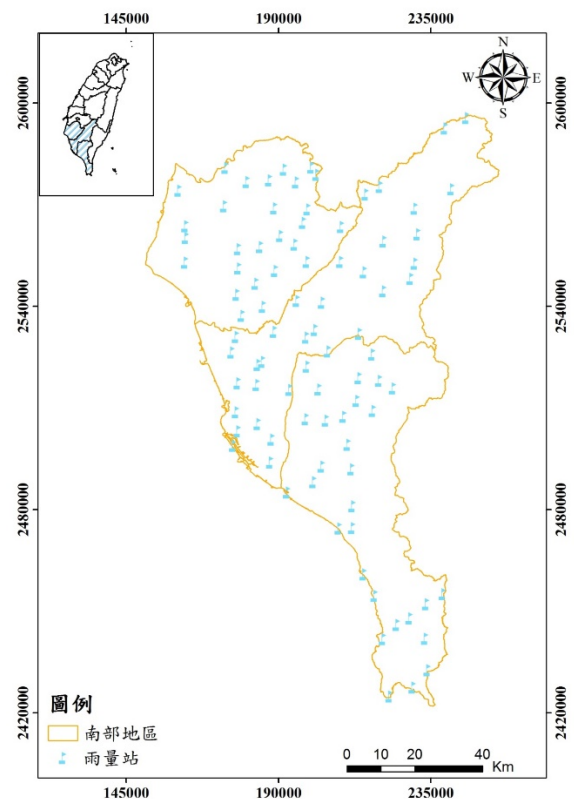


圖1 南部地區雨量站位置分佈圖  
(採用TWD97二度分帶座標)



表1 南部地區91個中央氣象局雨量站基本資料表

縣市	鄉鎮區	編號	站名	海拔 (m)	站號	X (TWD97)	Y (TWD97)	有效降雨事件 (場)	年平均降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-yr)
臺南市	七股區	1	七股	6	C1X090	162554	2560250	248	13,087
	下營區	2	下營	19	C0X060	173888	2569623	390	20,671
	大內區	3	大內	38	C0O860	184531	2557601	451	24,204
	白河區	4	大棟山	1,249	C1O870	201142	2578878	787	35,745
	六甲區	5	王爺宮	134	C0O840	188685	2569012	484	25,300
	北門區	6	北門	4	C1X070	160467	2574261	342	16,136
	南化區	7	北寮	127	C0O830	198261	2553196	490	33,795
	左鎮區	8	左鎮	30	C1O820	188947	2550518	504	24,806
	玉井區	9	玉井	69	C0O930	194756	2558346	566	29,644
	白河區	10	白河	33	C1X030	191606	2580418	519	21,760
	安南區	11	安南	4	C0O950	162389	2553041	304	16,991
	歸仁區	12	沙崙	24	C1N001	179170	2537316	267	24,466
	佳里區	13	佳里	2	C0X080	162472	2563706	354	15,074
	鹽水區	14	岸內	15	C1X010	174376	2581006	283	14,498
	東山區	15	東河	25	C0X050	187154	2577269	437	18,342
	東山區	16	東原	232	C1X040	195151	2576684	623	28,229
	新化區	17	虎頭埤	71	C0O970	183161	2546810	440	23,472
	龍崎區	18	崎頂	112	C0O960	185325	2539946	378	23,918
	善化區	19	善化	9	C0O900	178013	2556967	428	19,912
	楠西區	20	曾文	161	C0O810	198550	2568709	539	42,412
	歸仁區	21	媽廟	18	C0O990	177569	2543558	417	22,680
	新市區	22	新市	18	C0O980	178088	2551285	429	21,994
	柳營區	23	新營	16	C0O910	180595	2576822	410	19,659
	楠西區	24	楠西	115	C1O921	197185	2564705	546	31,184
	大內區	25	環湖	44	C1O850	190464	2560866	485	25,682
	白河區	26	關子嶺	403	C0X020	199687	2581053	752	41,967
	南化區	27	關山	223	C1O880	208443	2563551	621	33,020
高雄市	路竹區	28	三爺	35	C1P9A0	176091	2526434	275	21,985
	六龜區	29	大津	190	C1V340	213681	2531967	669	40,246
	大寮區	30	大寮	33	C0V730	187872	2500746	448	26,347
	桃源區	31	小關山	1,781	C1V220	230913	2561379	694	40,362
	杉林區	32	月眉	126	C0V260	202824	2541188	568	33,684



表1 南部地區91個中央氣象局雨量站基本資料表（續）

縣市	鄉鎮區	編號	站名	海拔 (m)	站號	X (TWD97)	Y (TWD97)	有效降雨事件 (場)	年平均降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-yr)	
高雄 市	內門區	33	內門	94	C0V360	195330	2541678	476	30,213	
	田寮區	34	古亭坑	74	C0V370	188638	2532590	466	24,612	
	左營區	35	左營	26	C0V430	177423	2508798	373	22,794	
	那瑪夏區	36	達卡努瓦	1,040	C1V160	219852	2575306	332	29,733	
	甲仙區	37	甲仙	298	C0V250	208179	2553220	605	41,352	
	美濃區	38	吉東	95	C1V320	204554	2526776	577	32,476	
	燕巢區	39	尖山	60	C1V390	185102	2523746	446	24,715	
	燕巢區	40	阿公店	56	C0V400	183835	2522755	382	25,720	
	橋頭區	41	岡山	31	C1V410	177875	2517356	386	23,444	
	那瑪夏區	42	表湖	1,163	C0V150	215694	2573145	347	23,461	
	桃源區	43	南天池	2,700	C1V190	240977	2574636	745	36,783	
	美濃區	44	美濃	46	C0V310	200675	2533155	599	34,692	
	桃源區	45	高中	731	C1V231	220987	2559258	525	38,543	
	桃源區	46	御油山	1,637	C1V300	220825	2544542	525	67,182	
	桃源區	47	排雲	3,690	C1V170	245311	2595630	586	15,603	
	桃源區	48	復興	734	C0V210	230155	2568932	551	30,670	
	六龜區	49	新發	470	C1V240	215169	2550101	635	52,561	
	桃源區	50	新集	1,166	C1V290	228878	2548204	110	28,663	
	新興區	51	新興	20	C0V490	177921	2503203	243	26,531	
	桃源區	52	楠溪	1,857	C1V460	239026	2592621	468	22,552	
	桃源區	53	溪南	1,792	C1V270	230165	2552721	718	52,052	
	大樹區	54	溪埔	36	C0V350	193181	2515453	454	29,425	
	路竹區	55	路竹	16	C1V380	177376	2531079	320	21,398	
	旗山區	56	旗山	63	C1V330	198112	2530838	509	29,163	
	旗津區	57	旗津	6	C0V500	176574	2498913	220	18,228	
	鳳山區	58	鳳山	27	C0V440	183821	2505314	438	24,225	
	小港區	59	鳳森	51	C0V450	187526	2494048	430	23,478	
	大社區	60	鳳雄	55	C1V420	183511	2516843	308	24,815	
	屏東 縣	春日鄉	61	力里	92	C1R250	211830	2481013	529	32,685
		內埔鄉	62	三地門	105	C0R150	213007	2512214	644	42,819
三地門鄉		63	上德文	820	C1R120	219645	2518112	677	55,691	



表1 南部地區91個中央氣象局雨量站基本資料表(續)

縣市	鄉鎮區	編號	站名	海拔 (m)	站碼	X (TWD97)	Y (TWD97)	有效降雨事件 (場)	年平均降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-yr)
屏東縣	三地門鄉	64	口社	110	C1R110	213567	2518878	695	42,804
	牡丹鄉	65	石門山	260	C1R290	224888	2446053	464	19,057
	牡丹鄉	66	旭海	13	C1R300	238421	2455116	550	25,057
	三地門鄉	67	尾寮山	1,006	C0R100	217556	2525845	773	65,360
	牡丹鄉	68	牡丹	230	C1R340	228605	2447974	460	23,852
	牡丹鄉	69	牡丹池山	504	C0R420	233561	2452153	615	22,837
	萬巒鄉	70	赤山	32	C0R190	210343	2499198	641	44,024
	車城鄉	71	車城	7	C1R320	220712	2441830	405	22,866
	里港鄉	72	里港	42	C1R090	198319	2522256	508	27,332
	滿州鄉	73	佳樂水	55	C0R370	233954	2432688	297	28,751
	萬巒鄉	74	來義	87	C0R240	211435	2491998	562	45,830
	東港鎮	75	東港	31	C0R430	192543	2485147	232	20,703
	枋山鄉	76	枋山	9	C1R330	215069	2460942	403	18,675
	枋寮鄉	77	枋寮	2	C0R380	207736	2474524	387	18,189
	霧台鄉	78	阿禮	1,040	C0R130	223676	2515845	517	33,189
	南州鄉	79	南州	20	C1R230	200251	2488188	425	19,995
	屏東市	80	屏東	26	C0R170	198010	2506765	501	31,286
	春日鄉	81	春日	76	C0R260	211721	2474624	425	26,791
	鹽埔鄉	82	新圍	45	C0R160	201809	2515534	512	36,005
	枋山鄉	83	楓港	15	C0R400	218313	2454657	419	20,013
	牡丹鄉	84	壽卡	474	C1R310	235456	2460023	461	21,920
瑪家鄉	85	瑪家	740	C0R140	217798	2509213	603	66,927	
潮州鎮	86	潮州	23	C0R220	202684	2492809	484	28,748	
恆春鎮	87	墾丁	20	C0R360	229569	2427555	310	28,365	
恆春鎮	88	貓鼻頭	35	C0R350	222706	2424931	382	22,784	
內埔鄉	89	龍泉	63	C1R201	209100	2507484	575	32,221	
滿州鄉	90	檳榔	242	C0R280	233158	2442000	611	33,605	
麟洛鄉	91	麟洛	54	C1R210	203938	2506414	547	32,307	

資料來源：中央氣象局及本研究彙整



表2 季平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式

站名	春	R <sup>2</sup>	夏	R <sup>2</sup>	秋	R <sup>2</sup>	冬	R <sup>2</sup>
七股	$R_s=1.66 P_s^{1.32}$	0.86	$R_s=1.09 P_s^{1.35}$	0.84	$R_s=6.02 P_s^{1.01}$	0.86	$R_s=0.01 P_s^{2.36}$	0.76
下營	$R_s=5.60 P_s^{1.09}$	0.71	$R_s=0.70 P_s^{1.42}$	0.82	$R_s=1.24 P_s^{1.32}$	0.85	$R_s=0.16 P_s^{1.75}$	0.93
大內	$R_s=2.04 P_s^{1.29}$	0.85	$R_s=0.95 P_s^{1.37}$	0.89	$R_s=4.11 P_s^{1.10}$	0.71	$R_s=0.24 P_s^{1.71}$	0.93
大凍山	$R_s=3.42 P_s^{1.16}$	0.75	$R_s=1.23 P_s^{1.31}$	0.87	$R_s=15.98 P_s^{0.95}$	0.70	$R_s=0.22 P_s^{1.66}$	0.68
王爺宮	$R_s=1.63 P_s^{1.30}$	0.86	$R_s=0.30 P_s^{1.53}$	0.89	$R_s=1.57 P_s^{1.33}$	0.90	$R_s=0.06 P_s^{2.00}$	0.88
北門	$R_s=2.34 P_s^{1.23}$	0.72	$R_s=2.09 P_s^{1.27}$	0.76	$R_s=2.53 P_s^{1.22}$	0.88	$R_s=0.48 P_s^{1.44}$	0.88
北寮	$R_s=6.96 P_s^{1.03}$	0.75	$R_s=1.10 P_s^{1.35}$	0.89	$R_s=1.20 P_s^{1.37}$	0.84	$R_s=0.36 P_s^{1.65}$	0.78
左鎮	$R_s=0.55 P_s^{1.48}$	0.94	$R_s=0.65 P_s^{1.42}$	0.82	$R_s=4.37 P_s^{1.14}$	0.97	$R_s=0.45 P_s^{1.59}$	0.89
玉井	$R_s=2.22 P_s^{1.24}$	0.94	$R_s=0.58 P_s^{1.43}$	0.87	$R_s=7.52 P_s^{1.07}$	0.86	$R_s=0.36 P_s^{1.61}$	0.77
白河	$R_s=1.27 P_s^{1.36}$	0.86	$R_s=0.91 P_s^{1.37}$	0.91	$R_s=2.08 P_s^{1.25}$	0.74	$R_s=0.06 P_s^{1.98}$	0.84
安南	$R_s=1.76 P_s^{1.33}$	0.87	$R_s=3.24 P_s^{1.20}$	0.69	$R_s=0.56 P_s^{1.46}$	0.96	$R_s=0.40 P_s^{1.60}$	0.86
沙崙	$R_s=0.35 P_s^{1.57}$	0.85	$R_s=1.99 P_s^{1.27}$	0.76	$R_s=3.17 P_s^{1.20}$	0.90	$R_s=0.04 P_s^{2.14}$	1
佳里	$R_s=3.05 P_s^{1.20}$	0.81	$R_s=1.81 P_s^{1.28}$	0.83	$R_s=1.62 P_s^{1.29}$	0.80	$R_s=0.21 P_s^{1.66}$	0.94
岸內	$R_s=1.86 P_s^{1.27}$	0.76	$R_s=6.43 P_s^{1.09}$	0.87	$R_s=4.04 P_s^{1.12}$	0.72	$R_s=0.17 P_s^{1.79}$	0.83
東河	$R_s=0.76 P_s^{1.41}$	0.79	$R_s=2.12 P_s^{1.25}$	0.76	$R_s=0.74 P_s^{1.41}$	0.94	$R_s=0.16 P_s^{1.72}$	0.87
東原	$R_s=5.87 P_s^{1.06}$	0.65	$R_s=0.90 P_s^{1.37}$	0.91	$R_s=4.34 P_s^{1.15}$	0.92	$R_s=2.06 P_s^{1.10}$	0.67
虎頭埤	$R_s=0.72 P_s^{1.44}$	0.88	$R_s=0.69 P_s^{1.41}$	0.82	$R_s=0.83 P_s^{1.45}$	0.87	$R_s=0.24 P_s^{1.75}$	0.90
崎頂	$R_s=0.96 P_s^{1.38}$	0.73	$R_s=4.38 P_s^{1.15}$	0.78	$R_s=2.58 P_s^{1.24}$	0.87	$R_s=0.23 P_s^{1.75}$	0.91
善化	$R_s=2.55 P_s^{1.23}$	0.86	$R_s=0.75 P_s^{1.40}$	0.90	$R_s=2.35 P_s^{1.23}$	0.81	$R_s=0.15 P_s^{1.86}$	0.81
曾文	$R_s=1.20 P_s^{1.37}$	0.92	$R_s=0.74 P_s^{1.41}$	0.87	$R_s=11.99 P_s^{1.02}$	0.91	$R_s=0.02 P_s^{2.38}$	0.83
媽祖廟	$R_s=0.32 P_s^{1.61}$	0.83	$R_s=3.31 P_s^{1.19}$	0.81	$R_s=1.82 P_s^{1.28}$	0.89	$R_s=0.41 P_s^{1.62}$	0.81
新市	$R_s=0.87 P_s^{1.44}$	0.92	$R_s=1.59 P_s^{1.28}$	0.89	$R_s=5.55 P_s^{1.09}$	0.84	$R_s=0.25 P_s^{1.72}$	0.87
新營	$R_s=2.27 P_s^{1.26}$	0.83	$R_s=0.43 P_s^{1.49}$	0.90	$R_s=1.40 P_s^{1.33}$	0.74	$R_s=0.30 P_s^{1.57}$	0.85
楠西	$R_s=1.54 P_s^{1.32}$	0.77	$R_s=1.10 P_s^{1.35}$	0.74	$R_s=4.97 P_s^{1.12}$	0.85	$R_s=0.53 P_s^{1.43}$	0.88
環湖	$R_s=1.54 P_s^{1.31}$	0.88	$R_s=0.50 P_s^{1.45}$	0.90	$R_s=6.81 P_s^{1.09}$	0.90	$R_s=0.12 P_s^{1.89}$	0.87
關子嶺	$R_s=5.76 P_s^{1.08}$	0.79	$R_s=0.28 P_s^{1.53}$	0.93	$R_s=5.37 P_s^{1.13}$	0.87	$R_s=0.54 P_s^{1.39}$	0.83
關山	$R_s=2.43 P_s^{1.24}$	0.78	$R_s=1.24 P_s^{1.32}$	0.84	$R_s=2.70 P_s^{1.21}$	0.90	$R_s=0.17 P_s^{1.70}$	0.78
三爺	$R_s=0.19 P_s^{1.71}$	0.89	$R_s=1.31 P_s^{1.33}$	0.89	$R_s=0.51 P_s^{1.51}$	0.94	$R_s=0.52 P_s^{1.61}$	0.86
大津	$R_s=6.15 P_s^{1.09}$	0.83	$R_s=0.99 P_s^{1.36}$	0.88	$R_s=1.85 P_s^{1.29}$	0.89	$R_s=0.97 P_s^{1.35}$	0.79
大寮	$R_s=2.99 P_s^{1.19}$	0.82	$R_s=1.11 P_s^{1.35}$	0.93	$R_s=1.70 P_s^{1.29}$	0.85	$R_s=0.07 P_s^{2.03}$	0.86
小關山	$R_s=0.48 P_s^{1.46}$	0.78	$R_s=0.06 P_s^{1.72}$	0.86	$R_s=2.18 P_s^{1.20}$	0.96	$R_s=0.57 P_s^{1.32}$	0.77
月眉	$R_s=0.66 P_s^{1.49}$	0.75	$R_s=34.05 P_s^{0.88}$	0.86	$R_s=11.94 P_s^{0.99}$	0.66	$R_s=0.37 P_s^{1.65}$	0.88
內門	$R_s=0.73 P_s^{1.43}$	0.86	$R_s=1.04 P_s^{1.36}$	0.89	$R_s=3.53 P_s^{1.18}$	0.92	$R_s=0.37 P_s^{1.56}$	0.83



表2 季平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式(續)

站名	春	R <sup>2</sup>	夏	R <sup>2</sup>	秋	R <sup>2</sup>	冬	R <sup>2</sup>
古亭坑	$R_s=0.66 P_s^{1.48}$	0.86	$R_s=1.85 P_s^{1.27}$	0.86	$R_s=1.85 P_s^{1.27}$	0.86	$R_s=0.56 P_s^{1.48}$	0.93
左營	$R_s=3.03 P_s^{1.16}$	0.71	$R_s=8.14 P_s^{1.08}$	0.82	$R_s=1.13 P_s^{1.35}$	0.97	$R_s=0.04 P_s^{2.13}$	0.94
達卡努瓦	$R_s=0.13 P_s^{1.65}$	0.78	$R_s=0.29 P_s^{1.48}$	0.89	$R_s=2.27 P_s^{1.22}$	0.95	$R_s=0.43 P_s^{1.34}$	0.89
甲仙	$R_s=2.00 P_s^{1.26}$	0.84	$R_s=1.26 P_s^{1.33}$	0.87	$R_s=3.99 P_s^{1.17}$	0.91	$R_s=0.20 P_s^{1.69}$	0.78
吉東	$R_s=5.46 P_s^{1.08}$	0.66	$R_s=2.58 P_s^{1.23}$	0.82	$R_s=4.07 P_s^{1.18}$	0.90	$R_s=0.39 P_s^{1.60}$	0.86
尖山	$R_s=0.82 P_s^{1.43}$	0.93	$R_s=2.12 P_s^{1.26}$	0.91	$R_s=0.84 P_s^{1.40}$	0.88	$R_s=0.26 P_s^{1.71}$	0.93
阿公店	$R_s=0.55 P_s^{1.49}$	0.90	$R_s=1.03 P_s^{1.36}$	0.90	$R_s=1.42 P_s^{1.33}$	0.95	$R_s=0.47 P_s^{1.62}$	0.81
岡山	$R_s=0.41 P_s^{1.56}$	0.91	$R_s=6.24 P_s^{1.11}$	0.83	$R_s=1.92 P_s^{1.29}$	0.91	$R_s=0.33 P_s^{1.68}$	0.81
表湖	$R_s=0.01 P_s^{2.07}$	0.81	$R_s=0.14 P_s^{1.59}$	0.88	$R_s=0.70 P_s^{1.41}$	0.96	$R_s=0.33 P_s^{1.42}$	0.70
南天池	$R_s=6.35 P_s^{1.00}$	0.73	$R_s=0.01 P_s^{1.87}$	0.93	$R_s=1.19 P_s^{1.25}$	0.82	$R_s=0.86 P_s^{1.19}$	0.83
美濃	$R_s=1.04 P_s^{1.37}$	0.88	$R_s=1.47 P_s^{1.31}$	0.83	$R_s=2.01 P_s^{1.28}$	0.93	$R_s=0.15 P_s^{1.82}$	0.92
高中	$R_s=0.12 P_s^{1.71}$	0.84	$R_s=0.62 P_s^{1.42}$	0.86	$R_s=1.00 P_s^{1.35}$	0.94	$R_s=2.19 P_s^{1.01}$	0.63
御油山	$R_s=0.46 P_s^{1.52}$	0.78	$R_s=0.35 P_s^{1.49}$	0.80	$R_s=0.63 P_s^{1.44}$	0.91	$R_s=1.00 P_s^{1.26}$	0.66
排雲	$R_s=1.87 P_s^{1.09}$	0.83	$R_s=0.19 P_s^{1.49}$	0.88	$R_s=0.32 P_s^{1.40}$	0.90	$R_s=0.14 P_s^{1.50}$	0.89
復興	$R_s=7.45 P_s^{0.98}$	0.69	$R_s=0.60 P_s^{1.42}$	0.67	$R_s=1.23 P_s^{1.24}$	0.70	$R_s=3.66 P_s^{0.88}$	0.68
新發	$R_s=2.21 P_s^{1.25}$	0.89	$R_s=2.11 P_s^{1.27}$	0.83	$R_s=4.86 P_s^{1.14}$	0.92	$R_s=0.20 P_s^{1.68}$	0.77
新集	$R_s=85.11 P_s^{0.64}$	0.74	$R_s=0.002 P_s^{2.26}$	0.99	$R_s=4.34 P_s^{1.04}$	0.98	$R_s=5E-065 P_s^{3.89}$	0.99
新興	$R_s=2.02 P_s^{1.27}$	0.70	$R_s=1.37 P_s^{1.34}$	0.88	$R_s=1.01 P_s^{1.38}$	0.95	$R_s=0.29 P_s^{1.56}$	0.90
楠溪	$R_s=1.77 P_s^{1.19}$	0.61	$R_s=0.11 P_s^{1.63}$	0.91	$R_s=0.41 P_s^{1.45}$	0.95	$R_s=0.88 P_s^{1.20}$	0.74
溪南	$R_s=1.51 P_s^{1.31}$	0.80	$R_s=0.46 P_s^{1.47}$	0.96	$R_s=1.66 P_s^{1.31}$	0.93	$R_s=0.74 P_s^{1.46}$	0.77
溪埔	$R_s=1.12 P_s^{1.26}$	0.89	$R_s=0.07 P_s^{1.79}$	0.89	$R_s=0.90 P_s^{1.34}$	0.93	$R_s=0.75 P_s^{1.22}$	0.85
路竹	$R_s=2.89 P_s^{1.17}$	0.77	$R_s=6.35 P_s^{1.10}$	0.89	$R_s=1.89 P_s^{1.26}$	0.89	$R_s=0.20 P_s^{1.84}$	0.87
旗山	$R_s=7.39 P_s^{1.02}$	0.62	$R_s=3.91 P_s^{1.17}$	0.88	$R_s=1.79 P_s^{1.26}$	0.90	$R_s=0.13 P_s^{1.81}$	0.97
旗津	$R_s=1.17 P_s^{1.34}$	0.67	$R_s=1.00 P_s^{1.36}$	0.92	$R_s=1.09 P_s^{1.33}$	0.97	$R_s=0.11 P_s^{1.87}$	0.95
鳳山	$R_s=0.50 P_s^{1.50}$	0.72	$R_s=2.91 P_s^{1.22}$	0.89	$R_s=1.52 P_s^{1.32}$	0.93	$R_s=0.13 P_s^{1.91}$	0.84
鳳森	$R_s=1.48 P_s^{1.28}$	0.89	$R_s=1.62 P_s^{1.30}$	0.81	$R_s=2.22 P_s^{1.26}$	0.96	$R_s=0.10 P_s^{1.99}$	0.88
鳳雄	$R_s=0.25 P_s^{1.64}$	0.82	$R_s=5.58 P_s^{1.13}$	0.75	$R_s=1.05 P_s^{1.41}$	0.89	$R_s=0.02 P_s^{2.38}$	0.91
力里	$R_s=0.60 P_s^{1.48}$	0.90	$R_s=3.01 P_s^{1.21}$	0.78	$R_s=1.25 P_s^{1.35}$	0.94	$R_s=0.05 P_s^{2.20}$	0.83
三地門	$R_s=1.50 P_s^{1.32}$	0.83	$R_s=1.11 P_s^{1.36}$	0.73	$R_s=2.12 P_s^{1.27}$	0.77	$R_s=0.21 P_s^{1.72}$	0.78
上德文	$R_s=1.85 P_s^{1.29}$	0.85	$R_s=0.44 P_s^{1.47}$	0.89	$R_s=1.42 P_s^{1.34}$	0.80	$R_s=0.38 P_s^{1.52}$	0.87
口社	$R_s=0.99 P_s^{1.39}$	0.87	$R_s=1.25 P_s^{1.34}$	0.81	$R_s=2.29 P_s^{1.26}$	0.93	$R_s=0.74 P_s^{1.44}$	0.64
石門山	$R_s=0.80 P_s^{1.44}$	0.90	$R_s=1.37 P_s^{1.30}$	0.62	$R_s=0.99 P_s^{1.33}$	0.89	$R_s=0.19 P_s^{1.69}$	0.85
旭海	$R_s=3.87 P_s^{1.09}$	0.81	$R_s=5.99 P_s^{1.10}$	0.88	$R_s=0.20 P_s^{1.60}$	0.90	$R_s=1.00 P_s^{1.24}$	0.73



表2 季平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式(續)

站名	春	R <sup>2</sup>	夏	R <sup>2</sup>	秋	R <sup>2</sup>	冬	R <sup>2</sup>
尾寮山	$R_s=3.52 P_s^{1.17}$	0.88	$R_s=0.66 P_s^{1.42}$	0.94	$R_s=3.03 P_s^{1.24}$	0.80	$R_s=1.26 P_s^{1.25}$	0.72
牡丹	$R_s=1.10 P_s^{1.37}$	0.90	$R_s=1.00 P_s^{1.34}$	0.77	$R_s=0.83 P_s^{1.38}$	0.90	$R_s=0.25 P_s^{1.64}$	0.83
牡丹池山	$R_s=0.05 P_s^{1.80}$	0.86	$R_s=1.89 P_s^{1.23}$	0.70	$R_s=0.28 P_s^{1.55}$	0.93	$R_s=0.24 P_s^{1.48}$	0.69
赤山	$R_s=2.08 P_s^{1.25}$	0.89	$R_s=3.88 P_s^{1.18}$	0.61	$R_s=0.55 P_s^{1.48}$	0.94	$R_s=0.12 P_s^{1.88}$	0.77
車城	$R_s=1.03 P_s^{1.42}$	0.95	$R_s=0.55 P_s^{1.46}$	0.84	$R_s=0.13 P_s^{1.73}$	0.86	$R_s=0.56 P_s^{1.49}$	0.83
里港	$R_s=8.59 P_s^{1.00}$	0.65	$R_s=4.76 P_s^{1.14}$	0.73	$R_s=1.30 P_s^{1.34}$	0.89	$R_s=0.59 P_s^{1.50}$	0.83
佳樂水	$R_s=2.73 P_s^{1.23}$	0.88	$R_s=0.61 P_s^{1.43}$	0.80	$R_s=0.25 P_s^{1.57}$	0.97	$R_s=0.36 P_s^{1.46}$	0.89
來義	$R_s=0.86 P_s^{1.43}$	0.86	$R_s=0.44 P_s^{1.48}$	0.72	$R_s=0.83 P_s^{1.41}$	0.88	$R_s=0.14 P_s^{1.92}$	0.75
東港	$R_s=3.14 P_s^{1.18}$	0.69	$R_s=0.34 P_s^{1.52}$	0.88	$R_s=0.71 P_s^{1.44}$	0.91	$R_s=0.06 P_s^{2.19}$	0.84
枋山	$R_s=1.41 P_s^{1.32}$	0.84	$R_s=4.40 P_s^{1.14}$	0.74	$R_s=0.23 P_s^{1.62}$	0.92	$R_s=0.29 P_s^{1.61}$	0.82
枋寮	$R_s=0.98 P_s^{1.36}$	0.82	$R_s=8.24 P_s^{1.06}$	0.74	$R_s=0.55 P_s^{1.47}$	0.77	$R_s=0.01 P_s^{2.82}$	0.72
阿禮	$R_s=0.63 P_s^{1.44}$	0.89	$R_s=0.09 P_s^{1.65}$	0.82	$R_s=2.15 P_s^{1.22}$	0.83	$R_s=0.13 P_s^{1.73}$	0.85
南州	$R_s=3.10 P_s^{1.14}$	0.93	$R_s=6.37 P_s^{1.11}$	0.69	$R_s=1.41 P_s^{1.30}$	0.93	$R_s=0.22 P_s^{1.83}$	0.71
屏東	$R_s=0.17 P_s^{1.71}$	0.92	$R_s=2.25 P_s^{1.23}$	0.88	$R_s=1.94 P_s^{1.29}$	0.90	$R_s=0.06 P_s^{2.01}$	0.75
春日	$R_s=2.08 P_s^{1.24}$	0.82	$R_s=2.09 P_s^{1.26}$	0.79	$R_s=0.52 P_s^{1.47}$	0.92	$R_s=0.22 P_s^{1.79}$	0.65
新圍	$R_s=0.22 P_s^{1.63}$	0.85	$R_s=1.15 P_s^{1.35}$	0.79	$R_s=1.83 P_s^{1.31}$	0.85	$R_s=0.17 P_s^{1.83}$	0.90
楓港	$R_s=1.26 P_s^{1.34}$	0.87	$R_s=4.82 P_s^{1.13}$	0.75	$R_s=0.63 P_s^{1.45}$	0.84	$R_s=0.23 P_s^{1.75}$	0.82
壽卡	$R_s=1.87 P_s^{1.15}$	0.86	$R_s=2.54 P_s^{1.19}$	0.75	$R_s=0.27 P_s^{1.55}$	0.82	$R_s=0.11 P_s^{1.63}$	0.72
瑪家	$R_s=1.67 P_s^{1.29}$	0.90	$R_s=2.13 P_s^{1.28}$	0.73	$R_s=0.80 P_s^{1.41}$	0.94	$R_s=1.14 P_s^{1.27}$	0.67
潮州	$R_s=0.39 P_s^{1.57}$	0.88	$R_s=1.03 P_s^{1.36}$	0.76	$R_s=4.61 P_s^{1.12}$	0.86	$R_s=0.38 P_s^{1.63}$	0.61
墾丁	$R_s=2.88 P_s^{1.24}$	0.85	$R_s=0.32 P_s^{1.53}$	0.81	$R_s=0.36 P_s^{1.52}$	0.96	$R_s=2.72 P_s^{1.04}$	0.62
貓鼻頭	$R_s=0.54 P_s^{1.56}$	0.87	$R_s=0.36 P_s^{1.51}$	0.88	$R_s=0.14 P_s^{1.73}$	0.91	$R_s=0.09 P_s^{2.05}$	0.63
龍泉	$R_s=7.92 P_s^{1.02}$	0.67	$R_s=0.38 P_s^{1.49}$	0.83	$R_s=1.84 P_s^{1.28}$	0.93	$R_s=0.06 P_s^{2.04}$	0.82
檳榔	$R_s=0.11 P_s^{1.83}$	0.81	$R_s=0.41 P_s^{1.48}$	0.92	$R_s=1.54 P_s^{1.27}$	0.78	$R_s=0.81 P_s^{1.25}$	0.61
麟洛	$R_s=1.65 P_s^{1.30}$	0.89	$R_s=11.69 P_s^{1.03}$	0.67	$R_s=1.94 P_s^{1.27}$	0.88	$R_s=0.17 P_s^{1.89}$	0.69

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 單場有效雨場事件之判定

本研究依據 Wischmeier and Smith(1958) 單場有效降雨事件之定義，將各雨量站17年之10分鐘等間隔降雨資料進行雨場分析，其定義如下：

1. 單場降雨之累積降雨量須超過12.7mm，且該場降雨與前場降雨需間隔超過6小時以上，視為一場有效降雨事件。
2. 降雨若低於12.7mm，但於15分鐘內降下6.35 mm以上之雨量，仍具備有沖蝕之潛在能力，則該場降雨應視為有效降雨事件，其降雨總動能須列入降雨總動能之計算。





## 2.2.2 降雨沖蝕指數之計算

經由上述有效降雨事件判定後，計算出每場有效降雨事件之降雨強度，並使用 Wischmeier and Smith (1958) 依據 Laws 及 Parson(1943) 對自然降雨實測資料推導而成之降雨動能公式，如(1)及(2)式，得出每公頃單位降雨量之降雨動能。

$$e_i = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I; \quad I < 76\text{mm/hr} \dots\dots\dots (1)$$

$$e_i = 0.283; \quad I > 76\text{mm/hr} \dots\dots\dots (2)$$

其中， $e_i$  為每公頃單位降雨量之降雨動能 (MJ/ha-mm)； $I$  為降雨強度 (mm/hr)。

單場降雨沖蝕指數為該場降雨的降雨總動能與該場降雨最大30分鐘降雨強度之乘積，如式(3)所示。

$$R_j = E_j \times I_{j30} = \sum_{i=1}^{T_j} (e_{ji} P_{ji}) \times I_{j30} \dots\dots\dots (3)$$

其中， $R_j$  為第  $j$  場降雨的降雨沖蝕指數； $E_j = (\sum_{i=1}^{T_j} e_{ji} P_{ji})$  為第  $j$  場降雨中第  $i$  時刻的降雨動能； $I_{j30}$  為第  $j$  場降雨的最大30分鐘降雨強度； $e_{ji}$  為第  $j$  場降雨中的第  $i$  時刻的每公頃單位降雨量之降雨動能； $P_{ji}$  為第  $j$  場降雨中第  $i$  時刻的降雨量； $T_j$  為第  $j$  場降雨的降雨延時。

吳嘉俊等人(1996)指出降雨沖蝕指數是可以累加的，因此四季、乾濕季及年之降雨沖蝕指數，可寫為(4)~(7)式。

$$R_s = \sum_{j=1}^s R_j \dots\dots\dots (4)$$

$$R_y = \sum_{j=1}^y R_j \dots\dots\dots (5)$$

$$R_{sd} = \sum_{j=1}^{sd} R_j \dots\dots\dots (6)$$

$$R_{sw} = \sum_{j=1}^{sw} R_j \dots\dots\dots (7)$$

$R_j$  為第  $j$  場降雨之單場降雨沖蝕指數； $R_s$  為每季的單場降雨沖蝕指數累加； $R_y$  為整年的單場降雨沖蝕指數累加； $R_{sd}$  為乾季單場降雨沖蝕指數累加； $R_{sw}$  為濕季單場降雨沖蝕指數累加。

## 2.2.3 降雨沖蝕指數與降雨量推估關係式之建立

本研究利用乘冪回歸式建立降雨沖蝕指數與降雨量之推估關係式，四季、乾季、濕季及年之平均降雨沖蝕指數推估關係式，如(8)~(11)式所示。

$$R_{sm} = a P_{sm}^b \dots\dots\dots (8)$$

$$R_{sdm} = a P_{sdm}^b \dots\dots\dots (9)$$

$$R_{swm} = a P_{swm}^b \dots\dots\dots (10)$$

$$R_{ym} = a P_{ym}^b \dots\dots\dots (11)$$

其中， $a$  和  $b$  為待定係數； $R_{sm}$  為季平均降雨沖蝕指數； $P_{sm}$  為季平均降雨量； $R_{sdm}$  為乾季平均降雨沖蝕指數； $P_{sdm}$  為乾季平均降雨量； $R_{swm}$  為濕季平均降雨沖蝕指數； $P_{swm}$  為濕季平均降雨量； $R_{ym}$  為年平均降雨沖蝕指數； $P_{ym}$  為年平均降雨量。

## 2.2.4 不同重現期距之降雨沖蝕指數推估

本研究透過水文統計方法(含常態分佈、對數常態 II 分佈、對數常態 III 分佈、皮爾遜 III 分佈及對數皮爾遜 III 分佈)進行各雨量站降雨沖蝕指數分析，列出各雨量站最佳水文統計方法在不同重現期距之降雨沖蝕指數。

## 2.2.5 降雨沖蝕指數空間分布等值圖之繪製

本研究使用 ESRI 公司開發之地理資訊系統軟體 ArcMAP 10.2，利用 IDW (距離反比加權法) 模組繪製降雨沖蝕指數之空間分布等值圖。IDW 為空間內插估計最常用的方法，利用鄰近已知點的數值加權，推估目前位置的變數值，其計算公式如(12)式所示。

$$z(x, y) = [\sum_{i=1}^N W(d_i) Z_i] / [\sum_{i=1}^N W(d_i)] \dots\dots\dots (12)$$

式中， $W(d_i)$  為權重方程； $Z_i$  為第  $i$  個已知點的數值； $d_i$  為  $i$  點到未知點之間的距離。



## 三、結果與討論

### 3.1 年平均降雨沖蝕指數

本研究依據南部地區17年(2002年至2018年)共91個中央氣象局雨量站之10分鐘降雨資料，進行單場有效降雨事件之兩場分析判斷，共計有43,536場有效降雨事件，平均每個雨量站約有478場(即每個雨量站每年平均約28場)，最多為臺南市大凍山雨量站共787場，高雄市新集雨量站為最少共110場，利用上述有效降雨事件分析各雨量站之年平均降雨沖蝕指數，分析結果如表1所示。整體來說，南部地區年平均降雨沖蝕指數為29,418MJ-mm/ha-hr-yr，最大值为67,182MJ-mm/ha-hr-yr出現在高雄市御油山雨量站，臺南市七股雨量站為最小13,087MJ-mm/ha-hr-yr。

### 3.2 降雨沖蝕指數與降雨量之回歸關係式

本研究利用乘冪回歸關係式進行降雨沖蝕指數與降雨量之分析，分別建立91個雨量站四季(春、夏、秋及冬)、乾濕季及年平均之

降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式。根據中央氣象局二十四節氣四季之定義：2月至4月為春季、5月至7月為夏季、8月至10月為秋季、11月至隔年1月為冬季；5月至10月為濕季、11月至隔年4月為乾季。四季分析結果顯示，春、夏、秋及冬季分別有82(90%)、85(93%)、90(99%)及77(85%)個雨量站其回歸關係式之判定係數( $R^2$ )高於0.7以上，如表2所示，而一般認為判定係數大於0.7，表示模型擬合度很好，可解釋程度較高，換句話說，利用表2中之回歸關係式來推估季平均降雨沖蝕指數之可靠性至少有八成五以上的雨量站具相當可靠性。乾濕季分析結果顯示，乾及濕季分別有75(82%)及73(80%)個雨量站其回歸關係式之判定係數( $R^2$ )高於0.7以上，如表3所示，換句話說，利用表3中之回歸關係式來推估乾濕季平均降雨沖蝕指數之可靠性至少有八成以上的雨量站具相當可靠性。年分析結果顯示，有90(99%)個雨量站其回歸關係式之判定係數( $R^2$ )高於0.7以上，如表4所示，換句話說，利用表4中之回歸關係式來推估年平均降雨沖蝕指數之可靠性有九成九的雨量站具相當可靠性。

表3 乾濕季平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式

站名	乾季	$R^2$	濕季	$R^2$	站名	乾季	$R^2$	濕季	$R^2$
七股	$R_{sd}=0.16 P_{sd}^{1.76}$	0.77	$R_{sw}=1.53 P_{sw}^{1.29}$	0.90	白河	$R_{sd}=0.53 P_{sd}^{1.45}$	0.84	$R_{sw}=1.19 P_{sw}^{1.32}$	0.87
下營	$R_{sd}=9.05 P_{sd}^{0.90}$	0.66	$R_{sw}=0.88 P_{sw}^{1.37}$	0.74	安南	$R_{sd}=1.44 P_{sd}^{1.34}$	0.76	$R_{sw}=5.36 P_{sw}^{1.12}$	0.88
大內	$R_{sd}=0.26 P_{sd}^{1.63}$	0.81	$R_{sw}=1.43 P_{sw}^{1.29}$	0.78	沙崙	$R_{sd}=0.54 P_{sd}^{1.44}$	0.93	$R_{sw}=1.54 P_{sw}^{1.29}$	0.72
大凍山	$R_{sd}=1.01 P_{sd}^{1.31}$	0.63	$R_{sw}=3.97 P_{sw}^{1.15}$	0.82	佳里	$R_{sd}=0.82 P_{sd}^{1.36}$	0.81	$R_{sw}=1.36 P_{sw}^{1.30}$	0.82
王爺宮	$R_{sd}=1.88 P_{sd}^{1.17}$	0.66	$R_{sw}=0.80 P_{sw}^{1.38}$	0.80	岸內	$R_{sd}=0.30 P_{sd}^{1.36}$	0.91	$R_{sw}=2.18 P_{sw}^{1.20}$	0.81
北門	$R_{sd}=2.16 P_{sd}^{1.19}$	0.84	$R_{sw}=4.08 P_{sw}^{1.16}$	0.89	東河	$R_{sd}=0.84 P_{sd}^{1.40}$	0.84	$R_{sw}=0.11 P_{sw}^{1.64}$	0.73
北寮	$R_{sd}=0.55 P_{sd}^{1.45}$	0.77	$R_{sw}=1.36 P_{sw}^{1.30}$	0.92	東原	$R_{sd}=0.66 P_{sd}^{1.39}$	0.72	$R_{sw}=2.81 P_{sw}^{1.20}$	0.84
左鎮	$R_{sd}=0.76 P_{sd}^{1.42}$	0.78	$R_{sw}=1.09 P_{sw}^{1.33}$	0.77	虎頭埤	$R_{sd}=0.72 P_{sd}^{1.42}$	0.76	$R_{sw}=1.23 P_{sw}^{1.32}$	0.75
玉井	$R_{sd}=0.95 P_{sd}^{1.35}$	0.76	$R_{sw}=1.06 P_{sw}^{1.33}$	0.88	崎頂	$R_{sd}=0.32 P_{sd}^{1.61}$	0.85	$R_{sw}=9.35 P_{sw}^{1.04}$	0.66



表3 乾濕季平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式(續)

站名	乾季	R <sup>2</sup>	濕季	R <sup>2</sup>	站名	乾季	R <sup>2</sup>	濕季	R <sup>2</sup>
善化	$R_{sd}=0.98 P_{sd}^{1.37}$	0.75	$R_{sw}=1.13 P_{sw}^{1.32}$	0.84	旗山	$R_{sd}=0.19 P_{sd}^{1.65}$	0.88	$R_{sw}=8.75 P_{sw}^{1.05}$	0.84
曾文	$R_{sd}=0.78 P_{sd}^{1.43}$	0.83	$R_{sw}=0.62 P_{sw}^{1.42}$	0.86	旗津	$R_{sd}=5.91 P_{sd}^{0.99}$	0.74	$R_{sw}=1.38 P_{sw}^{1.29}$	0.79
媽祖廟	$R_{sd}=0.16 P_{sd}^{1.70}$	0.82	$R_{sw}=2.03 P_{sw}^{1.25}$	0.78	鳳山	$R_{sd}=1.27 P_{sd}^{1.29}$	0.73	$R_{sw}=1.53 P_{sw}^{1.29}$	0.86
新市	$R_{sd}=0.50 P_{sd}^{1.50}$	0.84	$R_{sw}=1.45 P_{sw}^{1.29}$	0.87	鳳森	$R_{sd}=0.24 P_{sd}^{1.68}$	0.78	$R_{sw}=5.41 P_{sw}^{1.12}$	0.68
新營	$R_{sd}=1.24 P_{sd}^{1.31}$	0.83	$R_{sw}=2.45 P_{sw}^{1.23}$	0.83	鳳雄	$R_{sd}=1.01 P_{sd}^{1.39}$	0.64	$R_{sw}=28.66 P_{sw}^{0.90}$	0.60
楠西	$R_{sd}=0.96 P_{sd}^{1.35}$	0.74	$R_{sw}=2.87 P_{sw}^{1.21}$	0.74	力里	$R_{sd}=0.34 P_{sd}^{1.55}$	0.69	$R_{sw}=5.31 P_{sw}^{1.13}$	0.66
環湖	$R_{sd}=1.83 P_{sd}^{1.20}$	0.75	$R_{sw}=0.60 P_{sw}^{1.41}$	0.87	三地門	$R_{sd}=0.51 P_{sd}^{1.49}$	0.88	$R_{sw}=4.27 P_{sw}^{1.16}$	0.65
關子嶺	$R_{sd}=1.15 P_{sd}^{1.26}$	0.84	$R_{sw}=0.64 P_{sw}^{1.40}$	0.92	上德文	$R_{sd}=0.73 P_{sd}^{1.42}$	0.86	$R_{sw}=2.82 P_{sw}^{1.21}$	0.68
關山	$R_{sd}=1.86 P_{sd}^{1.20}$	0.66	$R_{sw}=1.06 P_{sw}^{1.32}$	0.88	口社	$R_{sd}=1.57 P_{sd}^{1.27}$	0.85	$R_{sw}=1.78 P_{sw}^{1.27}$	0.79
三爺	$R_{sd}=1.13 P_{sd}^{1.36}$	0.70	$R_{sw}=1.21 P_{sw}^{1.33}$	0.82	石門山	$R_{sd}=2.80 P_{sd}^{1.13}$	0.83	$R_{sw}=1.27 P_{sw}^{1.28}$	0.64
大津	$R_{sd}=1.54 P_{sd}^{1.27}$	0.90	$R_{sw}=2.95 P_{sw}^{1.20}$	0.81	旭海	$R_{sd}=0.42 P_{sd}^{1.44}$	0.76	$R_{sw}=4.81 P_{sw}^{1.11}$	0.79
大寮	$R_{sd}=0.54 P_{sd}^{1.49}$	0.77	$R_{sw}=0.75 P_{sw}^{1.38}$	0.89	尾寮山	$R_{sd}=5.83 P_{sd}^{1.02}$	0.88	$R_{sw}=3.40 P_{sw}^{1.20}$	0.87
小關山	$R_{sd}=0.98 P_{sd}^{1.24}$	0.82	$R_{sw}=0.15 P_{sw}^{1.56}$	0.61	牡丹	$R_{sd}=2.38 P_{sd}^{1.15}$	0.82	$R_{sw}=24.09 P_{sw}^{0.89}$	0.67
月眉	$R_{sd}=0.62 P_{sd}^{1.43}$	0.84	$R_{sw}=5.34 P_{sw}^{1.11}$	0.76	牡丹池山	$R_{sd}=0.05 P_{sd}^{1.77}$	0.69	$R_{sw}=4.25 P_{sw}^{1.11}$	0.80
內門	$R_{sd}=0.71 P_{sd}^{1.38}$	0.83	$R_{sw}=2.06 P_{sw}^{1.25}$	0.82	赤山	$R_{sd}=2.15 P_{sd}^{1.18}$	0.72	$R_{sw}=0.33 P_{sw}^{1.48}$	0.75
古亭坑	$R_{sd}=0.91 P_{sd}^{1.36}$	0.84	$R_{sw}=4.09 P_{sw}^{1.15}$	0.82	車城	$R_{sd}=1.36 P_{sd}^{1.33}$	0.80	$R_{sw}=0.41 P_{sw}^{1.48}$	0.72
左營	$R_{sd}=0.21 P_{sd}^{1.64}$	0.90	$R_{sw}=14.05 P_{sw}^{1.00}$	0.80	里港	$R_{sd}=0.69 P_{sd}^{1.44}$	0.87	$R_{sw}=6.66 P_{sw}^{1.09}$	0.70
達卡努瓦	$R_{sd}=0.50 P_{sd}^{1.34}$	0.96	$R_{sw}=0.13 P_{sw}^{1.56}$	0.88	佳樂水	$R_{sd}=2.12 P_{sd}^{1.15}$	0.77	$R_{sw}=0.38 P_{sw}^{1.46}$	0.83
甲仙	$R_{sd}=1.75 P_{sd}^{1.19}$	0.83	$R_{sw}=1.64 P_{sw}^{1.28}$	0.81	來義	$R_{sd}=1.36 P_{sd}^{1.28}$	0.65	$R_{sw}=4.45 P_{sw}^{1.15}$	0.74
吉東	$R_{sd}=0.99 P_{sd}^{1.35}$	0.80	$R_{sw}=54.38 P_{sw}^{0.82}$	0.67	東港	$R_{sd}=1.21 P_{sd}^{1.38}$	0.72	$R_{sw}=1.19 P_{sw}^{1.32}$	0.81
尖山	$R_{sd}=0.95 P_{sd}^{1.37}$	0.87	$R_{sw}=2.36 P_{sw}^{1.23}$	0.87	枋山	$R_{sd}=0.40 P_{sd}^{1.54}$	0.80	$R_{sw}=1.63 P_{sw}^{1.26}$	0.66
阿公店	$R_{sd}=1.40 P_{sd}^{1.30}$	0.80	$R_{sw}=1.65 P_{sw}^{1.28}$	0.84	枋寮	$R_{sd}=0.47 P_{sd}^{1.45}$	0.66	$R_{sw}=4.29 P_{sw}^{1.14}$	0.78
岡山	$R_{sd}=1.03 P_{sd}^{1.39}$	0.77	$R_{sw}=4.57 P_{sw}^{1.15}$	0.77	阿禮	$R_{sd}=0.25 P_{sd}^{1.58}$	0.88	$R_{sw}=0.40 P_{sw}^{1.43}$	0.63
表湖	$R_{sd}=0.90 P_{sd}^{1.27}$	0.95	$R_{sw}=1.30 P_{sw}^{1.27}$	0.76	南州	$R_{sd}=0.95 P_{sd}^{1.36}$	0.62	$R_{sw}=14.11 P_{sw}^{0.98}$	0.69
南天池	$R_{sd}=1.11 P_{sd}^{1.18}$	0.76	$R_{sw}=0.02 P_{sw}^{1.81}$	0.84	屏東	$R_{sd}=0.38 P_{sd}^{1.57}$	0.78	$R_{sw}=1.24 P_{sw}^{1.32}$	0.86
美濃	$R_{sd}=0.53 P_{sd}^{1.47}$	0.85	$R_{sw}=3.22 P_{sw}^{1.20}$	0.83	春日	$R_{sd}=2.02 P_{sd}^{1.17}$	0.65	$R_{sw}=3.60 P_{sw}^{1.17}$	0.72
高中	$R_{sd}=0.43 P_{sd}^{1.43}$	0.79	$R_{sw}=2.11 P_{sw}^{1.24}$	0.76	新圍	$R_{sd}=1.55 P_{sd}^{1.23}$	0.77	$R_{sw}=1.86 P_{sw}^{1.27}$	0.71
御油山	$R_{sd}=4.11 P_{sd}^{1.06}$	0.84	$R_{sw}=0.62 P_{sw}^{1.39}$	0.67	楓港	$R_{sd}=0.49 P_{sd}^{1.54}$	0.77	$R_{sw}=2.09 P_{sw}^{1.23}$	0.72
排雲	$R_{sd}=0.30 P_{sd}^{1.32}$	0.86	$R_{sw}=0.35 P_{sw}^{1.37}$	0.75	壽卡	$R_{sd}=0.60 P_{sd}^{1.37}$	0.63	$R_{sw}=90.09 P_{sw}^{0.70}$	0.67
復興	$R_{sd}=9.24 P_{sd}^{0.83}$	0.62	$R_{sw}=0.24 P_{sw}^{1.50}$	0.71	瑪家	$R_{sd}=0.28 P_{sd}^{1.59}$	0.80	$R_{sw}=6.52 P_{sw}^{1.12}$	0.62
新發	$R_{sd}=0.81 P_{sd}^{1.39}$	0.83	$R_{sw}=5.86 P_{sw}^{1.13}$	0.73	潮州	$R_{sd}=0.13 P_{sd}^{1.79}$	0.76	$R_{sw}=1.65 P_{sw}^{1.28}$	0.71
新集	$R_{sd}=0.03 P_{sd}^{2.00}$	0.68	$R_{sw}=0.0003 P_{sw}^{2.42}$	0.98	墾丁	$R_{sd}=3.52 P_{sd}^{1.07}$	0.69	$R_{sw}=0.13 P_{sw}^{1.62}$	0.76
新興	$R_{sd}=2.15 P_{sd}^{1.20}$	0.81	$R_{sw}=1.95 P_{sw}^{1.27}$	0.82	貓鼻頭	$R_{sd}=0.28 P_{sd}^{1.71}$	0.74	$R_{sw}=0.66 P_{sw}^{1.40}$	0.67
楠溪	$R_{sd}=4.15 P_{sd}^{0.95}$	0.72	$R_{sw}=0.75 P_{sw}^{1.34}$	0.85	龍泉	$R_{sd}=0.52 P_{sd}^{1.50}$	0.86	$R_{sw}=1.46 P_{sw}^{1.29}$	0.76
溪南	$R_{sd}=0.78 P_{sd}^{1.29}$	0.83	$R_{sw}=0.12 P_{sw}^{1.57}$	0.71	檳榔	$R_{sd}=0.77 P_{sd}^{1.32}$	0.64	$R_{sw}=2.27 P_{sw}^{1.23}$	0.71
溪埔	$R_{sd}=0.46 P_{sd}^{1.54}$	0.84	$R_{sw}=0.44 P_{sw}^{1.46}$	0.89	麟洛	$R_{sd}=0.58 P_{sd}^{1.48}$	0.81	$R_{sw}=16.10 P_{sw}^{0.93}$	0.66
路竹	$R_{sd}=0.39 P_{sd}^{1.56}$	0.86	$R_{sw}=9.41 P_{sw}^{1.04}$	0.85	--	--	--	--	--



表4 年平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式

站名	回歸關係式	R <sup>2</sup>	站名	回歸關係式	R <sup>2</sup>
七股	$R_y=0.07 P_y^{1.71}$	0.95	吉東	$R_y=9.68 P_y^{1.04}$	0.76
下營	$R_y=1.02 P_y^{1.34}$	0.72	尖山	$R_y=2.08 P_y^{1.24}$	0.88
大內	$R_y=2.08 P_y^{1.24}$	0.78	阿公店	$R_y=1.60 P_y^{1.28}$	0.85
大凍山	$R_y=4.72 P_y^{1.12}$	0.80	岡山	$R_y=4.45 P_y^{1.15}$	0.75
王爺宮	$R_y=1.06 P_y^{1.33}$	0.77	表湖	$R_y=0.70 P_y^{1.34}$	0.99
北門	$R_y=3.02 P_y^{1.20}$	0.87	南天池	$R_y=0.03 P_y^{1.71}$	0.79
北寮	$R_y=1.48 P_y^{1.28}$	0.90	美濃	$R_y=4.44 P_y^{1.15}$	0.82
左鎮	$R_y=2.13 P_y^{1.23}$	0.74	高中	$R_y=2.16 P_y^{1.23}$	0.74
玉井	$R_y=1.20 P_y^{1.31}$	0.86	御油山	$R_y=0.43 P_y^{1.43}$	0.77
白河	$R_y=1.50 P_y^{1.28}$	0.83	排雲	$R_y=0.41 P_y^{1.33}$	0.75
安南	$R_y=10.23 P_y^{1.02}$	0.85	復興	$R_y=0.02 P_y^{1.82}$	0.82
沙崙	$R_y=1.56 P_y^{1.28}$	0.70	新發	$R_y=7.25 P_y^{1.09}$	0.72
佳里	$R_y=5.75 P_y^{1.09}$	0.71	新集	$R_y=0.0002 P_y^{2.46}$	0.99
岸內	$R_y=1.45 P_y^{1.28}$	0.79	新興	$R_y=1.78 P_y^{1.28}$	0.83
東河	$R_y=1.07 P_y^{1.31}$	0.68	楠溪	$R_y=2.32 P_y^{1.17}$	0.90
東原	$R_y=3.48 P_y^{1.17}$	0.82	溪南	$R_y=0.17 P_y^{1.52}$	0.71
虎頭埤	$R_y=3.39 P_y^{1.18}$	0.74	溪埔	$R_y=0.49 P_y^{1.43}$	0.87
崎頂	$R_y=4.22 P_y^{1.13}$	0.83	路竹	$R_y=9.39 P_y^{1.04}$	0.83
善化	$R_y=1.27 P_y^{1.30}$	0.82	旗山	$R_y=9.49 P_y^{1.04}$	0.83
曾文	$R_y=0.56 P_y^{1.42}$	0.86	旗津	$R_y=2.69 P_y^{1.19}$	0.71
媽祖廟	$R_y=1.79 P_y^{1.26}$	0.77	鳳山	$R_y=1.57 P_y^{1.28}$	0.86
新市	$R_y=1.31 P_y^{1.29}$	0.86	鳳森	$R_y=1.01 P_y^{1.33}$	0.96
新營	$R_y=2.08 P_y^{1.24}$	0.82	鳳雄	$R_y=9.94 P_y^{1.03}$	0.75
楠西	$R_y=3.73 P_y^{1.17}$	0.72	力里	$R_y=6.98 P_y^{1.08}$	0.74
環湖	$R_y=0.86 P_y^{1.35}$	0.85	三地門	$R_y=0.48 P_y^{1.43}$	0.75
關子嶺	$R_y=0.71 P_y^{1.38}$	0.90	上德文	$R_y=1.46 P_y^{1.29}$	0.74
關山	$R_y=1.09 P_y^{1.31}$	0.89	口社	$R_y=2.65 P_y^{1.21}$	0.79
三爺	$R_y=0.82 P_y^{1.37}$	0.81	石門山	$R_y=0.25 P_y^{1.49}$	0.90
大津	$R_y=3.84 P_y^{1.16}$	0.81	旭海	$R_y=3.84 P_y^{1.13}$	0.73
大寮	$R_y=0.82 P_y^{1.36}$	0.88	尾寮山	$R_y=3.63 P_y^{1.18}$	0.86
小關山	$R_y=1.55 P_y^{1.25}$	0.72	牡丹	$R_y=1.10 P_y^{1.30}$	0.97
月眉	$R_y=4.64 P_y^{1.13}$	0.78	牡丹池山	$R_y=2.53 P_y^{1.16}$	0.81
內門	$R_y=2.32 P_y^{1.23}$	0.82	赤山	$R_y=0.41 P_y^{1.45}$	0.75
古亭坑	$R_y=3.67 P_y^{1.16}$	0.83	車城	$R_y=0.23 P_y^{1.54}$	0.73
左營	$R_y=17.48 P_y^{0.96}$	0.78	里港	$R_y=7.91 P_y^{1.06}$	0.70
達卡努瓦	$R_y=0.41 P_y^{1.40}$	0.87	佳樂水	$R_y=0.27 P_y^{1.50}$	0.84
甲仙	$R_y=2.01 P_y^{1.25}$	0.81	來義	$R_y=5.22 P_y^{1.13}$	0.74



表4 年平均降雨沖蝕指數與降雨量回歸關係式(續)

站名	回歸關係式	R <sup>2</sup>	站名	回歸關係式	R <sup>2</sup>
東港	$R_y=2.22 P_y^{1.23}$	0.81	壽卡	$R_y=42.50 P_y^{0.79}$	0.73
枋山	$R_y=15.86 P_y^{0.94}$	0.76	瑪家	$R_y=0.30 P_y^{1.49}$	0.82
枋寮	$R_y=4.18 P_y^{1.14}$	0.77	潮州	$R_y=1.67 P_y^{1.27}$	0.71
阿禮	$R_y=0.27 P_y^{1.47}$	0.79	墾丁	$R_y=0.13 P_y^{1.61}$	0.76
南州	$R_y=15.86 P_y^{0.96}$	0.75	貓鼻頭	$R_y=0.12 P_y^{1.63}$	0.72
屏東	$R_y=1.26 P_y^{1.31}$	0.86	龍泉	$R_y=1.96 P_y^{1.24}$	0.77
春日	$R_y=3.18 P_y^{1.18}$	0.73	檳榔	$R_y=2.57 P_y^{1.20}$	0.76
新圍	$R_y=1.44 P_y^{1.30}$	0.70	麟洛	$R_y=10.80 P_y^{1.03}$	0.86
楓港	$R_y=3.22 P_y^{1.16}$	0.76	--	--	--

### 3.3 不同重現期距之降雨沖蝕指數

本研究利用水文分析方法建立各個雨量站在不同重現期距之降雨沖蝕指數，如表5所示，由表5中可看出，91個雨量站2年重現期距之降雨沖蝕指數平均值為20,906MJ-mm/ha-hr-yr，其中最大及最小值分別為61,557MJ-mm/ha-hr-yr(尾寮山雨量站)及9,953MJ-mm/ha-hr-yr(七股雨量站)；5年重現期距之降雨沖蝕指數平均值為39,380MJ-mm/ha-hr-yr，其中最大及最小值分別為88,078MJ-mm/ha-hr-yr(御油山雨量站)及18,486MJ-mm/ha-hr-yr(佳里雨量站)；10年重現期距之降雨沖蝕指數平均值為47,867MJ-mm/ha-hr-yr，其中最大及最小值分別為107,890MJ-mm/ha-hr-yr(瑪家雨量站)及24,862MJ-mm/ha-hr-yr(岸內雨量站)；25年重現期距之降雨沖蝕指數平均值為59,124MJ-

mm/ha-hr-yr，其中最大及最小值分別為136,193MJ-mm/ha-hr-yr(瑪家雨量站)及30,773MJ-mm/ha-hr-yr(岸內雨量站)；50年重現期距之降雨沖蝕指數平均值為68,122MJ-mm/ha-hr-yr，其中最大及最小值分別為159,136MJ-mm/ha-hr-yr(瑪家雨量站)及33,374MJ-mm/ha-hr-yr(東港雨量站)；100年重現期距之降雨沖蝕指數平均值為77,886MJ-mm/ha-hr-yr，其中最大及最小值分別為202,817MJ-mm/ha-hr-yr(北寮雨量站)及34,504MJ-mm/ha-hr-yr(東港雨量站)。最佳水文統計分佈方法中，對數皮爾遜III共40站(44%)，皮爾遜III共26站(29%)，對數常態III共10站(11%)，對數常態II共12站(13%)，常態分佈共3站(3%)。由上述結果得知，超過25年重現期距之最大值位於瑪家及北寮雨量站。

表5 不同重現期距之降雨沖蝕指數(單位：MJ-mm/ha-hr-yr)

縣市	雨量站	不同重現期距之年降雨沖蝕指數(MJ-mm/ha-hr-yr)						統計分析方法
		2年	5年	10年	25年	50年	100年	
臺南市	七股	9,953	19,172	26,582	37,376	46,436	56,359	對數常態III
	下營	15,739	26,811	37,483	56,114	74,791	98,672	對數皮爾遜III
	大內	23,531	33,900	39,124	44,170	47,035	49,307	對數皮爾遜III



表5 不同重現期距之降雨沖蝕指數(單位：MJ-mm/ha-hr-yr)(續)

縣市	雨量站	不同重現期距之年降雨沖蝕指數(MJ-mm/ha-hr-yr)						統計分析方法
		2年	5年	10年	25年	50年	100年	
臺南市	大棟山	32,917	44,944	53,108	63,395	70,972	78,450	皮爾遜Ⅲ
	王爺宮	24,351	34,664	40,307	46,246	49,942	53,119	對數皮爾遜Ⅲ
	北門	13,674	20,792	26,563	35,024	42,164	50,015	對數常態Ⅲ
	北寮	24,735	39,385	56,651	92,975	136,712	202,817	對數皮爾遜Ⅲ
	左鎮	23,440	33,929	40,254	47,672	52,848	57,770	皮爾遜Ⅲ
	玉井	26,880	41,184	50,438	61,773	69,950	77,906	皮爾遜Ⅲ
	白河	18,146	28,474	37,360	51,368	64,147	79,236	對數皮爾遜Ⅲ
	安南	13,812	23,739	31,516	42,632	51,817	61,755	對數常態Ⅱ
	沙崙	24,984	33,428	36,761	39,311	40,427	41,115	對數皮爾遜Ⅲ
	佳里	11,913	18,486	25,101	37,117	49,664	66,332	對數皮爾遜Ⅲ
	岸內	13,119	20,183	24,862	30,773	35,177	39,587	對數常態Ⅲ
	東河	17,006	23,591	27,997	33,603	37,808	42,036	對數常態Ⅱ
	東原	25,950	36,650	43,907	53,231	60,281	67,415	對數常態Ⅱ
	虎頭埤	22,538	31,240	36,358	42,262	46,330	50,164	皮爾遜Ⅲ
	崎頂	23,968	31,589	35,174	38,500	40,330	41,750	對數皮爾遜Ⅲ
	善化	17,465	27,360	34,528	44,179	51,756	59,638	對數皮爾遜Ⅲ
	曾文	39,064	58,180	70,297	84,958	95,435	105,565	皮爾遜Ⅲ
	媽廟	20,977	31,566	38,147	45,870	51,197	56,179	對數皮爾遜Ⅲ
	新市	20,905	30,119	35,432	41,296	45,117	48,533	對數皮爾遜Ⅲ
	新營	17,918	25,745	31,122	38,096	43,409	48,818	對數常態Ⅱ
楠西	26,629	40,726	52,395	70,181	85,912	104,015	對數皮爾遜Ⅲ	
環湖	23,895	35,746	43,057	51,755	57,891	63,773	皮爾遜Ⅲ	
關子嶺	36,584	55,558	69,189	86,935	100,314	113,723	皮爾遜Ⅲ	
關山	28,913	44,611	55,975	71,293	83,348	95,921	對數常態Ⅱ	
高雄市	三爺	18,582	30,601	40,096	53,864	65,434	78,156	對數皮爾遜Ⅲ
	大津	40,815	53,025	58,301	62,810	65,081	66,703	對數皮爾遜Ⅲ
	大寮	23,706	35,698	43,910	54,538	62,621	70,837	對數常態Ⅲ
	小關山	36,292	53,588	65,999	82,688	95,825	109,549	對數皮爾遜Ⅲ
	月眉	33,210	42,182	47,153	52,665	56,345	59,735	皮爾遜Ⅲ
	內門	30,341	40,571	45,198	49,302	51,448	53,034	對數皮爾遜Ⅲ
	古亭坑	23,496	32,901	38,501	45,014	49,530	53,806	皮爾遜Ⅲ
	左營	23,377	29,995	32,617	34,670	35,601	36,202	對數皮爾遜Ⅲ
	達卡努瓦	28,021	37,700	43,848	51,295	56,621	61,774	皮爾遜Ⅲ
	甲仙	37,163	55,429	67,744	83,201	94,554	105,736	皮爾遜Ⅲ
	吉東	31,858	40,537	45,442	50,958	54,679	58,136	皮爾遜Ⅲ
	尖山	21,638	33,459	42,001	53,502	62,544	71,966	對數常態Ⅲ
	阿公店	23,923	35,971	43,277	51,655	57,302	62,482	對數皮爾遜Ⅲ



表 5 不同重現期距之降雨沖蝕指數(單位：MJ-mm/ha-hr-yr)(續)

縣市	雨量站	不同重現期距之年降雨沖蝕指數(MJ-mm/ha-hr-yr)						統計分析方法
		2年	5年	10年	25年	50年	100年	
高雄市	岡山	20,485	31,754	39,651	49,786	57,352	64,884	皮爾遜Ⅲ
	表湖	19,910	25,871	32,608	45,617	59,893	79,716	對數皮爾遜Ⅲ
	南天池	31,320	52,510	67,275	86,166	100,234	114,219	皮爾遜Ⅲ
	美濃	32,797	46,122	54,264	63,893	70,656	77,117	皮爾遜Ⅲ
	高中	36,468	53,885	64,260	76,331	84,703	92,631	皮爾遜Ⅲ
	御油山	61,157	88,078	106,599	130,653	149,000	167,690	對數常態Ⅱ
	排雲	13,945	20,779	25,600	31,978	36,918	42,010	對數常態Ⅱ
	復興	25,137	43,515	58,087	79,135	96,695	115,847	對數皮爾遜Ⅲ
	新發	50,944	67,813	77,608	88,817	96,490	103,689	皮爾遜Ⅲ
	新集	23,193	45,988	63,964	89,074	109,110	130,013	對數皮爾遜Ⅲ
	新興	25,613	36,153	42,024	48,321	52,320	55,819	對數皮爾遜Ⅲ
	楠溪	22,552	36,673	44,061	51,937	57,023	61,598	常態分佈
	溪南	49,458	72,966	86,055	99,933	108,598	116,053	對數皮爾遜Ⅲ
	溪埔	29,425	41,214	47,382	53,957	58,204	62,023	常態分佈
	路竹	19,643	29,251	35,564	43,389	49,084	54,659	對數皮爾遜Ⅲ
	旗山	28,211	37,851	43,466	49,905	54,321	58,468	皮爾遜Ⅲ
	旗津	16,682	23,774	28,616	34,868	39,614	44,432	對數常態Ⅱ
	鳳山	23,408	34,636	40,227	45,516	48,442	50,701	對數皮爾遜Ⅲ
鳳森	21,456	32,634	39,766	48,428	54,638	60,654	皮爾遜Ⅲ	
鳳雄	23,622	32,884	38,494	45,023	49,519	53,735	對數皮爾遜Ⅲ	
屏東縣	力里	30,210	43,427	52,090	62,950	70,992	79,004	對數常態Ⅲ
	三地門	39,461	55,445	66,243	80,080	90,517	101,059	對數常態Ⅱ
	上德文	54,024	74,304	85,905	99,051	107,979	116,310	皮爾遜Ⅲ
	口社	39,696	55,765	66,590	80,427	90,840	101,339	對數皮爾遜Ⅲ
	石門山	19,057	26,813	30,872	35,199	37,993	40,506	常態分佈
	旭海	20,214	34,338	46,349	64,961	81,598	100,858	對數皮爾遜Ⅲ
	尾寮山	61,557	87,193	103,172	122,483	136,351	149,851	對數常態Ⅲ
	牡丹	22,528	32,569	38,698	45,995	51,169	56,159	對數常態Ⅲ
	牡丹池山	19,800	30,287	38,521	50,490	60,612	71,826	對數皮爾遜Ⅲ
	赤山	36,939	57,946	75,570	102,727	126,970	155,070	對數皮爾遜Ⅲ
	車城	16,581	30,254	42,749	61,168	76,263	92,214	皮爾遜Ⅲ
	里港	28,211	35,999	39,608	43,123	45,217	46,988	皮爾遜Ⅲ
	佳樂水	24,311	38,337	50,168	68,483	84,900	103,994	對數皮爾遜Ⅲ
	來義	41,969	59,738	71,857	87,497	99,362	111,401	對數常態Ⅱ
	東港	21,535	27,141	29,642	32,005	33,374	34,504	皮爾遜Ⅲ
枋山	15,361	21,575	28,022	39,901	52,453	69,321	對數皮爾遜Ⅲ	



表 5 不同重現期距之降雨沖蝕指數(單位：MJ-mm/ha-hr-yr)(續)

縣市	雨量站	不同重現期距之年降雨沖蝕指數(MJ-mm/ha-hr-yr)						統計分析方法
		2年	5年	10年	25年	50年	100年	
屏東縣	枋寮	17,289	25,081	29,506	34,312	37,391	40,103	對數皮爾遜Ⅲ
	阿禮	30,396	45,399	55,029	66,768	75,205	83,395	皮爾遜Ⅲ
	南州	20,575	27,973	31,531	35,095	37,276	39,158	皮爾遜Ⅲ
	屏東	29,234	43,546	52,411	63,076	70,704	78,110	對數常態Ⅲ
	春日	26,506	37,041	42,039	46,625	49,098	50,973	對數皮爾遜Ⅲ
	新圍	28,496	47,581	65,173	94,641	123,055	158,189	對數皮爾遜Ⅲ
	楓港	18,885	25,701	30,044	35,377	39,258	43,075	對數常態Ⅲ
	壽卡	18,321	24,581	31,380	44,239	58,126	77,145	對數皮爾遜Ⅲ
	瑪家	59,959	87,479	107,890	136,193	159,136	183,707	對數皮爾遜Ⅲ
	潮州	27,815	41,038	47,615	53,838	57,281	59,942	對數皮爾遜Ⅲ
	墾丁	24,826	38,332	48,113	61,304	71,688	82,520	對數常態Ⅱ
	貓鼻頭	17,097	29,698	42,108	64,200	86,754	116,039	對數皮爾遜Ⅲ
	龍泉	30,189	43,195	51,338	61,056	67,898	74,425	對數皮爾遜Ⅲ
	檳榔	28,939	45,845	58,322	75,385	88,973	103,273	對數常態Ⅱ
麟洛	31,633	42,141	48,034	54,625	59,055	63,156	皮爾遜Ⅲ	

### 3.4 降雨沖蝕指數空間分布等值圖

本研究依據91個雨量站共43,536場有效降雨事件，分別計算各雨量站四季、乾濕季及年平均降雨沖蝕指數，並利用IDW(距離反比加權法)模組繪製降雨沖蝕指數之空間分布等值圖。圖2至圖5為春、夏、秋及冬季平均降雨沖蝕指數( $R_{sm}$ )空間分布等值圖，由圖得知，夏季由於受到梅雨和颱風的影響，降雨沖蝕指數均有比春、秋及冬三季明顯上升，其中春季之 $R_{sm}$ 大致上均小於4,000MJ-mm/ha-hr。夏季之 $R_{sm}$ 大致上均小於27,000MJ-mm/ha-hr，較大值集中在高雄市六龜區、茂林區及屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近。秋季之 $R_{sm}$ 大致上均小於6,000MJ-mm/ha-hr，較大值集中在屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近。冬季之 $R_{sm}$ 大致上均小於500MJ-mm/ha-hr，較大值

集中在高雄市桃源區及屏東縣獅子鄉、牡丹鄉附近。圖6及圖7為乾、濕季平均降雨沖蝕指數( $R_{sdm}$ 、 $R_{swm}$ )空間分布等值圖，由圖得知，乾季之 $R_{sdm}$ 大致上均小於1,200MJ-mm/ha-hr，較大值集中在高雄市桃源區與屏東縣三地門鄉、獅子鄉及牡丹鄉附近，其最大值位於屏東縣的旭海雨量站，其值為35,559MJ-mm/ha-hr。濕季之 $R_{swm}$ 大致上均小於30,000MJ-mm/ha-hr，較大值集中在高雄市六龜區、茂林區與屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近，其中最大值位於屏東縣的瑪家雨量站，其 $R_{swm}$ 為137,386MJ-mm/ha-hr。圖8為年平均降雨沖蝕指數( $R_{ym}$ )空間分布等值圖， $R_{ym}$ 大致上均小於40,000MJ-mm/ha-hr-yr，較大值集中在高雄市六龜區、茂林區及桃源區與屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近，其中御油山雨量站之 $R_{ym}$ 值高達67,182MJ-mm/ha-hr-yr。





## 四、結論與建議

本研究蒐集南部地區17年(2002年至2018年)共91個中央氣象局雨量站之10分鐘降雨資料，分析各雨量站之年平均降雨沖蝕指數，建立各雨量站四季(春、夏、秋及冬)、乾濕季及年平均降雨沖蝕指數與降雨量之回歸關係式，建立不同重現期距之降雨沖蝕指數，並繪製降雨沖蝕指數空間分布等值圖。研究結果說明如下：

1. 雨場分析結果共計43,536場有效降雨事件，平均每個雨量站約有478場，整體而言，南部地區年平均降雨沖蝕指數為29,418MJ-mm/ha-hr-yr，其中最大值出現於高雄市御油山雨量站(67,182 MJ-mm/ha-hr-yr)，最小值出現於臺南市七股雨量站(13,087MJ-mm/ha-hr-yr)。
2. 降雨沖蝕指數與降雨量回歸分析結果顯示，各雨量站回歸關係式之判定係數( $R^2$ )有八成以上高於0.7，此結果說明利用本研究所建立之回歸關係式來推估各種降雨沖蝕指數具相當可靠性。
3. 不同重現期距之降雨沖蝕指數其最大值大部分在高海拔的雨量站，超過25年重現期距之最大值位於瑪家及北寮雨量站。各雨量站之最佳水文統計分佈方法中，對數皮爾遜III佔44%，皮爾遜III佔29%。
4. 夏季平均降雨沖蝕指數( $R_{sm}$ )比春、秋、冬季明顯提升，其中夏季之 $R_{sm}$ 較大值集中在高雄市六龜區、茂林區及屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近。秋季之 $R_{sm}$ 較大值集中在屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近。冬季之 $R_{sm}$ 由於受到東北季風的影響，較大值集中在高雄市桃源區及屏東縣獅子鄉、牡丹鄉附近。乾季之平均降雨沖蝕指數( $R_{sdm}$ )較大值集中在高雄市桃源區與屏東縣三地門鄉、獅子鄉及牡丹鄉附近，其最大值位於屏東縣的旭海雨量站，其值為35,559MJ-mm/ha-hr。濕季之平均降雨沖蝕指數( $R_{swm}$ )較大值集中在高雄市六龜區、茂林區與屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近，大致上由西部平原向東部山區遞增，其中最大值位於屏東縣的瑪家雨量站，其 $R_{swm}$ 為137,386MJ-mm/ha-hr。年平均降雨沖蝕指數( $R_{ym}$ )大致上均小於40,000MJ-mm/ha-hr-yr，較大值集中高雄市六龜區、茂林區及桃源區與屏東縣霧台鄉、三地門鄉及瑪家鄉等山區附近，大致上由西部平原向東部山區遞增，其中御油山雨量站之 $R_{ym}$ 值高達67,182MJ-mm/ha-hr-yr。
5. 近年來台灣南部地區受到極端降雨事件影響，部分地區之降雨沖蝕指數已與過去不同，建議水土保持相關從業人員估算土壤流失量時，可參考本研究成果。

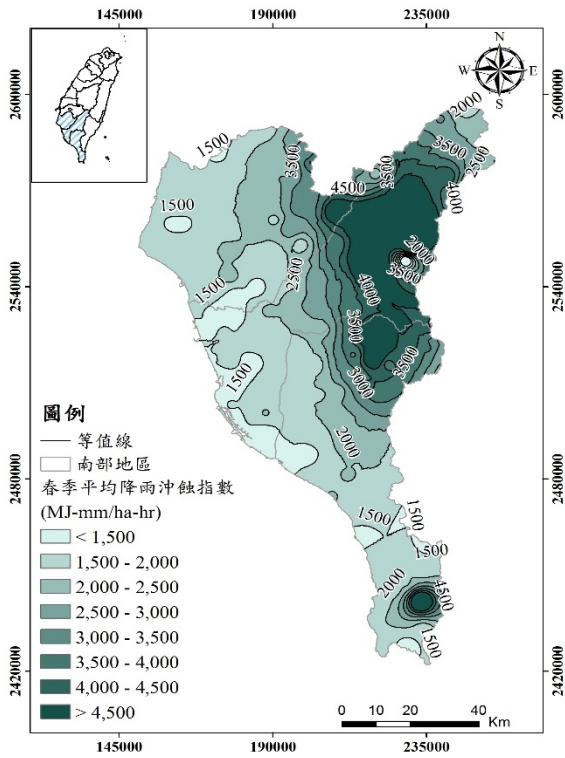


圖2 南部地區春季平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用TWD97二度分帶座標)

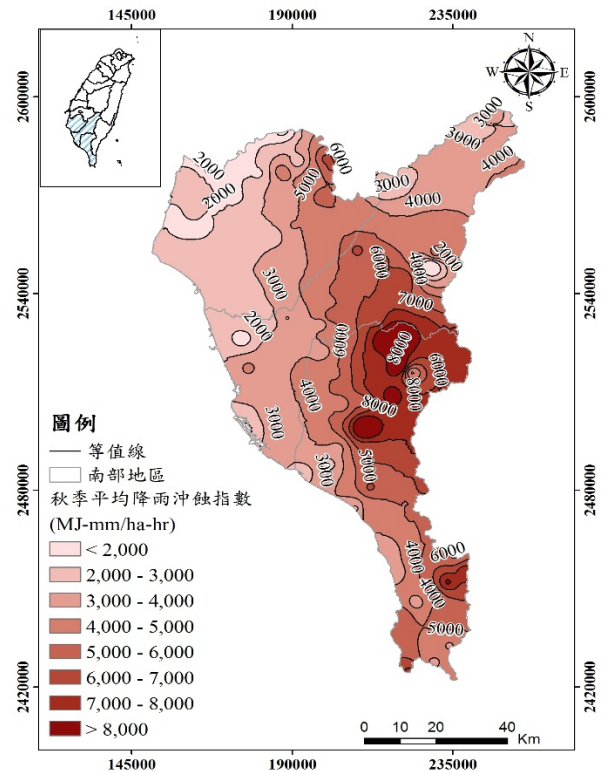


圖4 南部地區秋季平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用 TWD97 二度分帶座標)

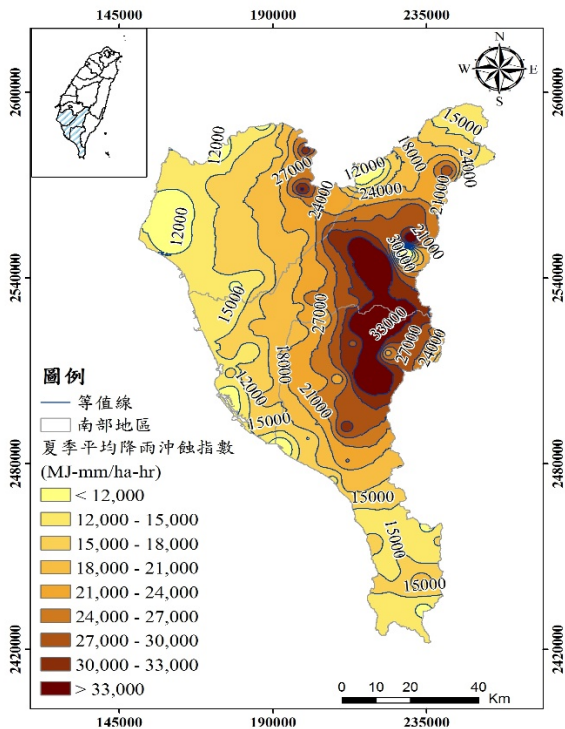


圖3 南部地區夏季平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用 TWD97 二度分帶座標)

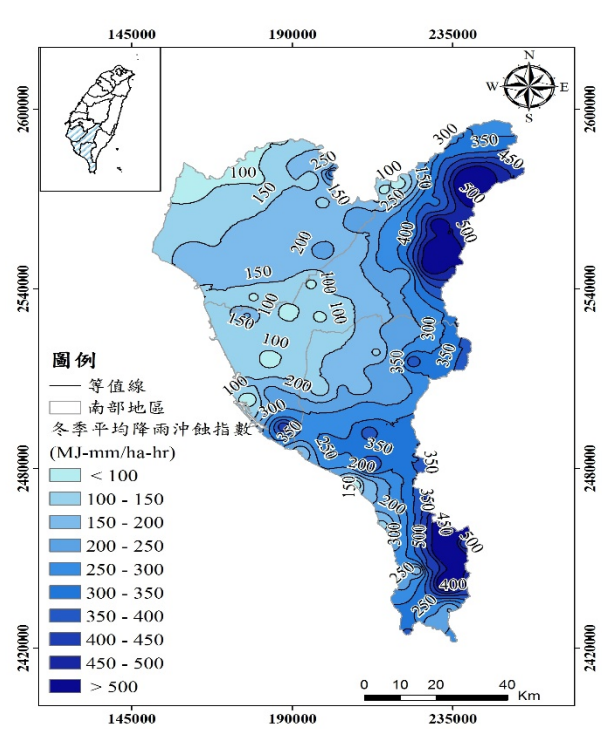


圖5 南部地區冬季平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用 TWD97 二度分帶座標)



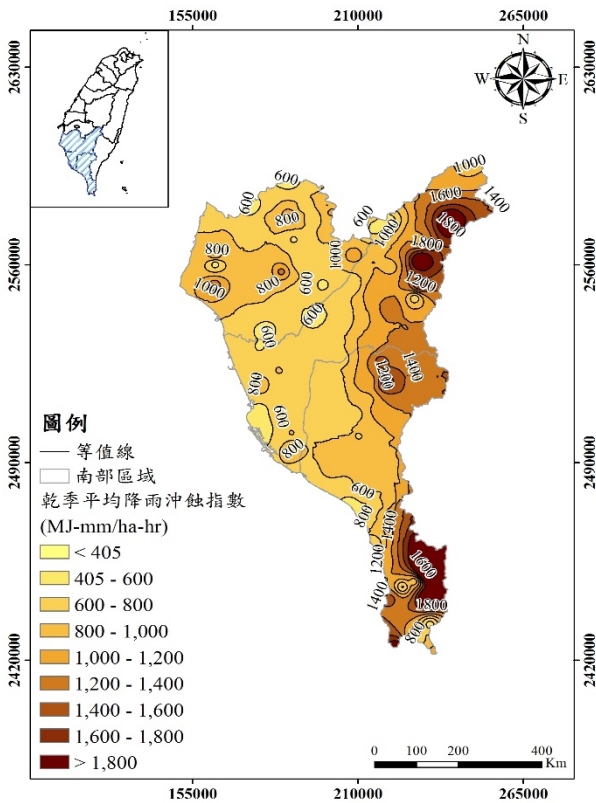


圖 6 南部地區乾季平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用 TWD97 二度分帶座標)

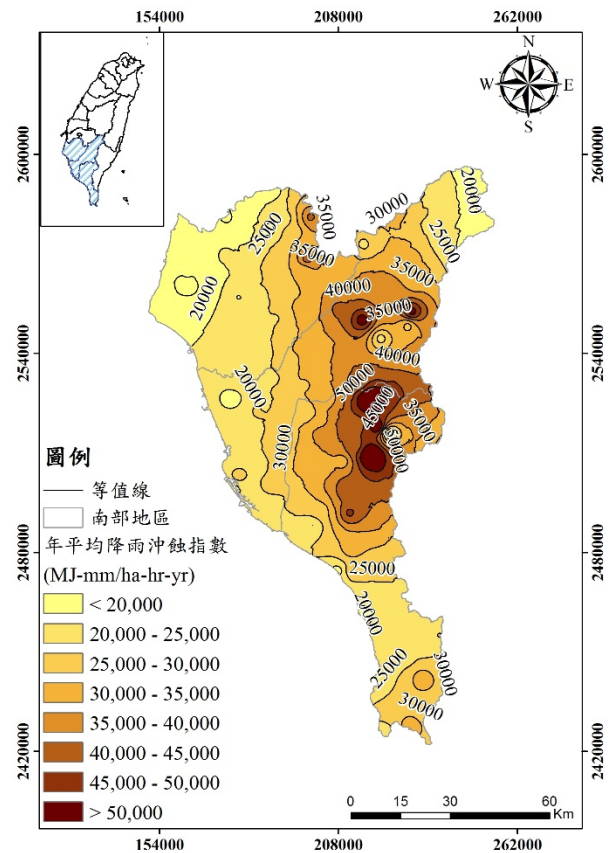


圖 8 南部地區年平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用 TWD97 二度分帶座標)

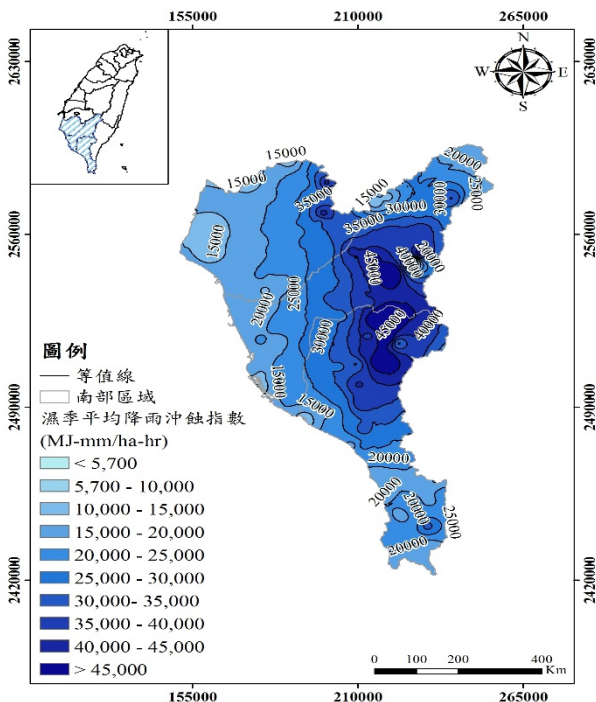


圖 7 南部地區濕季平均降雨沖蝕指數空間分布等值圖(採用 TWD97 二度分帶座標)

## 五、致謝

本研究承蒙行政院農業委員會水土保持局(案號：1071220093A)及科技部(108-2625-M-020-003)-經費支持，以利本研究順利進行，謹此致謝。

## 參考文獻

1. 李明熹、廖怡雯、徐千筑(2018)，台灣南部降雨量與降雨沖蝕指數之時空變化，農業工程學報，第64卷，第1期，第41-59頁。
2. 吳宜昭、龔楚嫻、王安翔、于宜強(2016)，「臺灣地區短延時強降雨事件氣候特性分析」，災害防救電子報，第132期。



- 3.吳嘉俊、盧光輝、林俐玲(1996),「土壤流失量估算手冊」,行政院農業委員會,第5-39頁。
- 4.范正成、楊智翔、劉哲欣(2009),「臺北地區降雨沖蝕指數推估公式之建立及歷年變化趨勢分析」,中華水土保持學報,第40卷,第2期,第1-9頁。
- 5.黃俊德(1979),「臺灣降雨沖蝕指數之研究」,中華水土保持學報,第10卷,第1期,第127-142頁。
- 6.楊斯堯、詹錢登、黃文舜、曾國訓(2010),「運用時雨量資料推估降雨沖蝕指數」,中華水土保持學報,第41卷,第3期,第189-199頁。
- 7.盧昭堯、蘇志強、吳藝昀(2005),「臺灣地區年等降雨沖蝕指數圖之修訂」,中華水土保持學報,第36卷,第2期,第159-172頁。
- 8.蘇志強、吳佩儒、盧昭堯(2016),「臺灣降雨特性變化及降雨沖蝕指數圖修訂」,第47卷,第1期,第1-12頁。
- 9.Laws, J. O., and Parsons, D. A (1943)., “The relation of rain drop size to intensiNtp”, American Geophysical, Union Transactions, Vol. 24, pp. 452-460.
- 10.Mondal, A., Khare, D., and Kundu, S.(2016), “Change in rainfall erosivity in the past and future due to climate change in the central part of India”, International Soil and Water Conservation Research, Vol.4, pp.186-194.
- 11.Takahiro Shiono, Shigeo Ogawa1, Teruhito Miyamoto, and Koji Kameyama (2013), “Expected impacts of climate change on rainfall erosivity of farmlands in Japan”, Ecological Engineering, Vol.61, pp.678-689.
- 12.Wischmeier, W. H., Smith, D. D., and Uhland, R. E. (1958), “Evaluation of factors in the soil loss equation, Agricultural Engineering”, Vol. 39, No. 1, pp. 458-462.
- 13.Moore, D. S., Notz, W. I, & Flinger, M. A. (2013). The basic practice of statistics (6th ed.). New York, NY: W. H. Freeman and Company. pp. 138.



## 臺灣南部山坡地土壤沖蝕指數之建立與分布

### Establishment of soil erodibility index and its spatial distribution in southern Taiwan

陳俊元<sup>1</sup>、簡士濠<sup>2\*</sup>

Jyun-Yuan Chen<sup>1</sup> Shih-Hao Jien<sup>2\*</sup>

1. 國立屏東科技大學水土保持系 研究助理

2. 國立屏東科技大學水土保持系 教授 (通訊作者 E-mail: shjien@g4e.npust.edu.tw)

1. Research Assistant, Department of Soil and Water Conservation,

National Pingtung University of Science and Technology, Neipu 91201, Pingtung, Taiwan.

2. Professor, Department of Soil and Water Conservation,

National Pingtung University of Science and Technology, Neipu 91201, Pingtung, Taiwan.

#### 摘要

鑒於臺灣目前所參考之土壤沖蝕性指數乃於30餘年前建立，距今已久遠，加上近年來，氣候變遷引起諸多嚴重坡地災害，同時，近年山坡地過度開發且土地利用變化差異甚大，顯示土壤沖蝕指數(soil erodibility, K factor)極具有重新建立與評估之必要性。本研究主要於臺南市、高雄市及屏東縣山坡地範圍內(100 m-1000 m)，於各縣市選取最具代表性之25個基標土系(benchmark soil series)，建立該地區K值之數值與繪製空間等值分佈圖。本研究採Wischmeier et al. (1978)公式計算各縣市山坡地基標土系之K值，並以克利金推估模式(Kriging interpolation model)繪製空間分布等值圖，以提供水土保持相關從業人員之參考。本研究結果顯示，台南市山坡地K值為0.010-0.073 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>，高雄市山坡地K值為0.021-0.082 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>，而屏東縣山坡地K值為0.0076-0.050 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>，結果指出以高雄市山坡地土壤沖蝕潛勢較高。本研究調查之K值分佈與萬鑫森與黃俊義(1989)之K值分佈具有顯著差異，以台南市南化地區及高雄市荖濃溪上游甲仙區及六龜區之差異最顯著，K值由1989年的0.025增加至2016年的大於0.050，推測坡地受災害嚴重擾動與土地開發之影響所致。

關鍵字：土壤沖蝕指數、基標土系、空間分布、土壤沖蝕潛勢。

#### Abstract

Soil erodibility factor (the K factor) should be re-established due to soil properties have been probably obviously influenced by climate change and over developed of slopelands in recent years in Taiwan. The old K factor developed by Wann and Huang (1989) used in Taiwan might not be suitable



longer because it has already established thirty years at least. This study selected 25 benchmark soil series in sloplands (100 m- 1000 m) for each city (Tainan, Kaohsiung and Pingtung) in southern Taiwan to analyze surface soil properties and calculated the K factors (based on Wischmeier et al. (1978)) and its spatial distribution. The results revealed that the K factors were  $0.010-0.073 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{yr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  in Tainan,  $0.021-0.082 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{yr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  in Kaohsiung and  $0.0076-0.050 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{yr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  in Pingtung. Higher soil erodibility was found in the sloplands in Kaohsiung. Comparing with the results from Wann and Huang (1989), new K factors obviously increased by 2 times at Nanhua district in Tainan, and at districts of Jiaxian and Liugui in Kaohsiung, which might be attributed to serious disturbance of soils by violent climate or long-term change processes of land uses.

**Key Word: soil erodibility, benchmark soil, spatial distribution, soil erosion potential.**

## 一、前言

目前推估臺灣山坡地土壤沖蝕量，仍以通用土壤流失公式 (universal soil loss equation, USLE) 為主要估算土砂流失之方式。估算過程中，需參考Wischmeier and Smith (1978) 所提出之線性圖解法(nomograph)，推估土壤沖蝕指數(soil erodibility, K factor)。土壤沖蝕指數係指土壤本身對沖蝕分離(detachment)及搬運(transportation)的容受能力，而該值可充分反映出土壤對沖蝕破壞之抵抗能力。當K值愈低顯示土壤愈抗沖蝕，而值越高即代表土壤愈不耐受沖蝕。Parysow et al. (2003), Wischmeier and Mannering (1969) 及林俐玲等人(2001)指出，K值顯著受到土壤粒徑、有機碳含量、土壤構造與土壤導水度等性質影響。Zuazo et al. (2006)指出土壤團粒穩定度與土壤中的次生礦物(鋁英石)為影響火山灰土壤K值的主要因子。

自1980年開始，國內已有許多學者針對K值進行相關的探討。台灣現行使用之土壤

沖蝕性指數(K)資料為萬鑫森及黃俊義(1989)依據Wischmeier and Smith之列線圖推算得台灣 280處土壤之沖蝕性指數。此外，萬鑫森與黃俊義(1981; 1983; 1989; 1993)，黃俊義與萬鑫森(1994)和黃俊義(1986)以特定土壤性質對照線解圖並求得K值，且設定K值低於0.20(英制單位)以下者為低沖蝕性土壤，在0.20-0.40間者為中沖蝕性土壤，高於0.40以上者為高沖蝕性土壤，並於1989年繪製臺灣地區之K值概略分佈圖。然而，建立臺灣土壤沖蝕性指數(K)距今已超過三十年，近幾十年來土地利用及開發程度已差異甚大。Roose (2003)指出K值為一動態變化(dynamic)之數值，並非長期維持定值，該值將隨時間變化或土地管理上而有所變動。同時，目前水土保持技術規範中已建立的臺灣各地區土壤沖蝕指數參考地點之資料仍少，顯示臺灣坡地之K值有重新調查建立之必要性。

本研究期望以具代表性之基標土系(benchmark soil series)概念，於臺灣南部三縣市的山坡地系統性採集表土土樣。採樣點將



均勻分布於海拔100-1000公尺間之山坡地範圍，分析各採樣點之土壤沖蝕指數，重新評估並繪製台灣土壤沖蝕指數空間分布等值圖，期望可提供水土保持相關從業人員作為參考。

## 二、材料與方法

### 2.1 研究區域與基標土系選定

本研究區域包括臺南市、高雄市及屏東縣等3個南部縣市山坡地。本研究依據山地農牧局於1980-1988年間建立之山坡地土壤調查報告書，選取各縣市山坡地之前25大土系作為基標土系，臺南市、高雄市及屏東縣之25大基標土系面積比例如表1~表3所示。所選定之25土系為該縣市山坡地分佈面積最廣之土系，其面積總和皆超過山坡地面積50%以上。

**表1 臺南市山坡地之前25大土系及其所佔面積比例**

順序	土系名稱	面積 (m <sup>2</sup> )	面積比例 (%)	
1	Tct	層林村系	69,636,266.97	13
2	Aws	愛文山系	47,860,911.47	9.2
3	Ylk	苑裡坑系	46,594,848.52	8.9
4	Hos	和社系	35,640,207.40	6.8
5	Kip	古亭笨系	31,597,718.07	6.0
6	Ank	暗坑系	28,672,426.59	5.5
7	Ckl	舊公路系	26,540,906.82	5.1
8	Naf	南富系	23,870,288.09	4.6
9	Chc	車埕系	13,934,144.40	2.7
10	Kuk	龜溝系	12,249,549.82	2.3
11	Kct	高中村系	12,244,297.30	2.3
12	Yts	銀錠山系	10,447,456.62	2.0
13	Yhs	永興社系	10,331,328.71	2.0
14	Spc	十八股寮系	9,909,169.85	1.9
15	Yup	永平系	8,494,092.06	1.6
16	Tzt	刺桐系	8,339,118.44	1.6
17	Slp	上鹿埔系	5,724,184.29	1.1
18	Hsm	哮貓系	4,656,486.94	0.9
19	Ysl	延山里系	4,440,909.68	0.8
20	Ftk	番子坑系	4,222,468.62	0.8
21	Ftt	番仔厝系	4,182,904.93	0.8

22	Sts	獅子頭山系	3,430,727.05	0.7
23	Khh	光興湖系	3,161,734.23	0.6
24	Smk	石門坑系	3,044,600.40	0.6
25	Ntk	娘子坑系	837,157.80	0.2
總計	25		430,063,905.07	<b>82.3</b>

**表2 高雄市山坡地之前25大土系及其所佔面積比例**

順序	土系名稱	面積 (m <sup>2</sup> )	面積比例 (%)	
1	Smp	石門埔系	53,098,115.91	6.0
2	Smt	沙漠村系	43,446,578.60	4.9
3	Tcs	大崎頂系	43,134,321.22	4.9
4	Wss	萬壽山系	41,060,221.26	4.7
5	Ycl	永春里系	38,097,009.30	4.3
6	Nlw	牛路彎系	32,043,352.67	3.6
7	Tch	大竹溪山系	25,388,933.39	2.9
8	Pes	排剪山系	23,806,884.52	2.7
9	Slp	上鹿埔系	20,502,895.11	2.3
10	Tls	大寮山系	18,805,625.93	2.1
11	Kft	咖啡村系	17,627,952.50	2.0
12	Sht	黍頂山系	17,314,830.24	2.0
13	Chc	井腳系	14,868,938.20	1.7
14	Nyc	內英橋系	12,884,848.34	1.5
15	Wul	武鹿系	11,035,691.85	1.3
16	Mrt	馬兒村系	10,848,557.92	1.2
17	Ckl	舊公路系	8,925,993.00	1.0
18	Wts	下茅草山系	8,574,266.57	1.0
19	Hht	新興村系	7,676,511.63	0.9
20	Csh	赤山湖系	6,992,655.10	0.8
21	Sts	獅子頭山系	4,528,221.38	0.5
22	Wl	五里林系	2,294,946.69	0.3
23	Swc	尾庄系	1,110,207.53	0.1
24	Shs	山河壽系	335,353.84	0.004
25	Csl	淺水寮系	43,693.58	0.001
總計	25		464,446,606.28	<b>52.7</b>

**表3 屏東縣山坡地之前26大土系及其所佔面積比例**

順序	土系名稱	面積 (m <sup>2</sup> )	面積比例 (%)	
1	Smp	石門埔系	84,713,117.73	7.1
2	Dlt	達來村系	73,746,868.86	6.2
3	Hht	旭海村系	38,431,122.46	3.2
4	Kfs	高士佛山系	34,849,027.35	2.9
5	Pht	平和村系	33,242,195.37	2.8
6	Cji	春日系	32,725,434.61	2.7
7	Fct	楓港村系	31,984,607.78	2.7
8	Cct	七佳村系	31,548,399.04	2.6
9	Mrt	馬兒村系	31,327,224.30	2.6



10	Lfs	老佛山系	28,789,379.48	2.4
11	Cit	佳義村系	27,491,534.70	2.3
12	Mtc	牡丹池山系	24,939,121.91	2.1
13	Nsp	南勢埔系	23,977,001.23	2.0
14	Ksh	口社系	23,373,659.32	2.0
15	Hlt	響林村系	22,753,558.27	1.9
16	Wht	文化村系	20,185,149.00	1.7
17	Ckl	舊公路系	17,048,605.24	1.4
18	Smt	沙漠村系	16,819,674.60	1.4
19	Ckc	知可且山系	15,281,182.16	1.3
20	Wat	霧台村系	10,921,933.94	0.9
21	Ktt	港仔村系	10,810,391.66	0.9
22	Hlu	新路村系	9,750,176.23	0.8
23	Nwt	內文村系	9,479,415.81	0.8
24	Mch	滿州系	8,035,142.94	0.7
25	Jsl	仁壽里系	7,267,116.12	0.6
總計		25	669,491,040.11	56.2

殊整地行為，即以土鑽採集表土。對照土壤調查報告之敘述（台南縣山坡地土壤調查報告書，1986；高雄縣山坡地土壤調查報告書，1986；屏東縣山坡地土壤調查報告書，1984），評估現地土壤是否相符土壤調查報告之敘述，供判斷該採樣點之合適性，若不合適者則棄之，另尋其它代表性點位。確認採樣點的合適性後，即進行基標土系調查，記錄採樣點之座標、海拔、坡度、坡向及土地利用並採集供後續分析。

## 2.2.2 土壤性質分析

於採樣現地進行土壤結構鑑定及土色判別，以現地張力入滲計測定土壤導水度，與打入土罐(soil core)供測定土壤總體密度，並採集0-30公分之表土作為分析樣本，攜回實驗室後分析以下土壤性質：

1. 土壤質地分析：比重計法(Gee and Bauder, 1986)與乾篩法

利用比重計法測定土壤砂粒(2-0.05 mm)、粉粒(0.05-0.002 mm)及黏粒(< 2 $\mu$ m)之組成比例。利用乾篩機分離粗砂(2-0.5 mm)、中砂(0.5-0.25 mm)、細砂(0.25-0.1 mm)、極細砂(0.1-0.05 mm)。

2. 土壤構造鑑定：現地鑑定土壤構造與大小  
依美國農部(USDA)國家土壤調查中心(National Soil Survey Center)出版之土壤調查描述手冊(Field Book for Describing and Sampling Soils, 2014)中之規範，現地鑑定土壤構造與大小。

3. 土壤團粒穩定度：平均重量直徑法(weight-mean diameter, MWD) (Le Bissonais, 1996)

以多重溼篩法計算出土壤團粒之平均重量粒徑，亦即分別記錄2 mm、1 mm、0.5 mm、

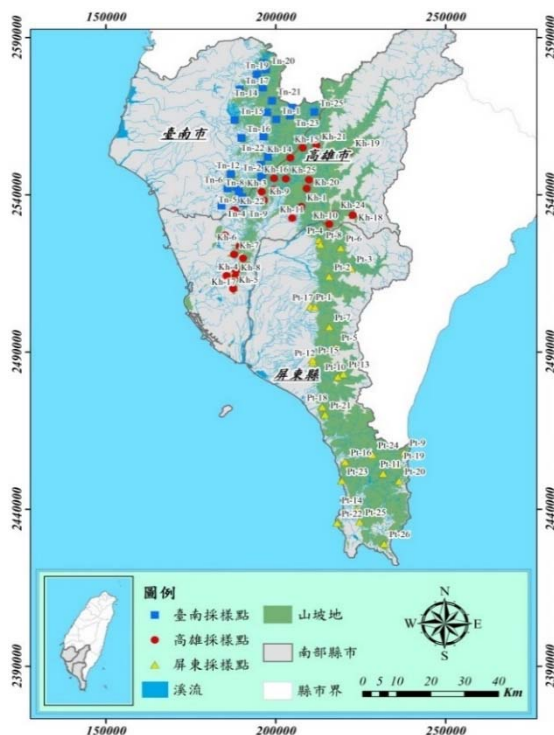


圖1 南部地區採樣點位分佈圖 (採用 TWD97二度分帶座標)

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 基標土系調查

採樣人員進行調查及採樣前，需評估現場土壤是否受整地嚴重或填埋客土，如無特



0.25 mm、0.104 mm篩網上剩餘土重，在與各篩網之中值粒徑區間乘積之總合。

#### 4. 土壤水力傳導度測定：張力入滲計 (Campbell et al., 1986)

以張力入滲計測定現地土壤導水度。如遇無法利用張力入滲計之地形位置，則利用既定體積之不銹鋼土罐(soil core)，貫入土壤，攜回實驗室，以定水頭法測定土壤飽和導水度。

#### 5. 土壤有機質含量：濕式氧化法 (Nelson and Sommers, 1982)

取0.5g風乾土壤置於500 ml三角錐瓶中，於抽氣櫃中依序加入20 ml 1 N 重鉻酸鉀 ( $K_2Cr_2O_7$ )及20 ml 95 %濃硫酸 ( $H_2SO_4$ )，充分震盪使土壤與溶液混合後，靜置約30分鐘。加入100 ml去離子水、5 ml 98%濃磷酸 ( $H_3PO_3$ ) 及4滴菲羅琳指示劑 (o-phenanthroline indicator)，以0.5 N硫酸亞鐵銨溶液( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )滴定至終點。

#### 6. 土壤總體密度：土罐法

利用體積固定為100  $cm^3$ 之不銹鋼土罐，貫入土壤中，以不擾動土樣的方式將土罐及土樣帶回實驗室，將土樣以105±5°C烘乾後並秤重，得到的乾土重與土壤體積之比即為土壤總體密度。

#### 7. 土壤含石量：重量法

秤取一定重量之土樣後，將土樣通過#10篩網，停留於篩網上的土敲碎，並再過一次#10篩網，而停留於篩網上的則為石頭，將石頭秤後，與過篩前的重量相比，即為土壤含石量。

#### 2.2.3 土壤沖蝕指數推估

本研究依據Wischmeier (Wischmeier and Smith, 1984)公式(如式(1)所示)，將土壤分析結果代入進行推算得到各採樣點之土壤沖蝕性指數(K)。

$$K(\text{公制}) = 0.1317 \times K(\text{英制}) \\ = 0.1317 \times [2.1M^{1.14} (10^{-4}) (12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)] / 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中： $M$  = 粉粒與極細砂 (0.002~0.1mm) × (100%-黏粒%)；  
 $a$  = 有機質含量(%)；  
 $b$  = 土壤結構參數；  
 $c$  = 土壤滲透性參數。

※當土壤之有機質含量超過4%時仍以4%計算。

表4 土壤結構參數

結構參數值	土壤結構	粒徑大小 (mm)
1	極細顆粒	<1.0
2	細顆粒	1.0~2.0
3	中或粗顆粒	2.0~10.0
4	塊狀、片狀或粗顆粒	>10.0

表5 土壤滲透性參數

滲透性參數值	滲透性	滲透速率 (mm/hr)
1	極快	>125.0
2	快	62.5~125.0
3	中等	20~62.5
4	中等慢	5.0~20.0
5	慢	1.25~5.0
6	極慢	<1.25

#### 2.2.4 土壤沖蝕指數空間分布圖之繪製

本研究使用美國環境系統研究所公司 (Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI) 開發之地理資訊系統軟體



ArcMap 10.2，將利用76個樣點之土壤沖蝕指數(K)以一般克利金 (ordinary Kriging)法的內插方式推估南部山坡地範圍內之土壤沖蝕指數，並將其繪製成各縣市山坡地 (100 m - 1000 m)之土壤沖蝕性指數(K factor)之空間分布圖。其中一般克利金法為平均值未知但為一常數，因此採用一般克利金法以已知點(Z<sub>0</sub>)數值推估未知區域內之推估未知點(Z<sub>0</sub>')，其推估值具有最佳、線性及不偏估之特性。

1. 最佳：推估值與已知值之差的變異數最小

$$\text{Var} [ Z_0' - Z_0 ] = \min \dots\dots\dots (2)$$

※ Var []=對中括號內的值取變異數。

2. 線性：推估值為已知值的線性組合

$$Z_0' = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_i \dots\dots\dots (3)$$

其中  $\lambda_i$  為一常數。

## 三、結果與討論

### 3.1 土壤沖蝕指數 (soil erodibility, K)

本研究於臺灣南部山坡地採集 75 個土樣，並攜回實驗室進行土壤分析，將獲得之土壤性質參數計算各點為之土壤沖蝕指數。表 6 顯示，屏東縣山坡地基標土系之土壤沖蝕指數最小值約為 0.0075 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>，最大值約為 0.0504 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>，高雄市則約介於 0.0129-0.0819 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>，而臺南市約介於 0.0097-0.0730 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>。

本研究將臺灣南部山坡地基標土系之 K 值，以縣市做區分後，可發現高雄市及臺南市的土壤沖蝕指數顯著高於屏東縣(表 6、圖 2、圖 3)，趨勢大致與萬鑫森與黃俊義(1989)的結果相符(圖 3)，台南市山坡地往南部之土

壤沖蝕指數遞減，其中高雄市山坡地多屬中沖蝕性，屏東縣則以中、低沖蝕性居多。屏東縣土壤風化程度較高，土壤中鐵鋁含量較高，土壤團粒化作用顯著(表 7)，土壤沖蝕指數因而降低。細質地土壤屬低沖蝕性，因此屏東縣抗沖蝕能力相對高雄市及臺南市高。

### 3.2 土壤沖蝕指數空間分布圖

本研究利用Wischmeier (Wischmeier and Smith, 1984)公式所推算得到的土壤沖蝕性指數(K)，以地理統計的概念，分別以一般克利金(ordinary Kriging)法繪製各縣市山坡地 (100 m - 1000 m)之土壤沖蝕性指數(K)空間分佈圖如圖6所示。本研究繪製之K值分佈圖相較於萬鑫森與黃俊義(1989)之結果，以台南市之南化區，以及高雄市荖濃溪上游的甲仙區及六龜區的K值差異最顯著，K值由1989年的0.025增加至2016年的大於0.05。該些地區土壤沖蝕指數明顯增加兩倍以上，推論應是2004年敏督利颱風與2009年莫拉克風災造成的重大崩坍和土砂災害，將部分山坡地土壤性質嚴重擾動所致。根據經濟部地質調查所利用福衛二號衛星照片，在莫拉克風災發生後完成的全台崩塌地面積判釋，從高屏流域的荖濃溪、旗山溪、隘寮溪，曾文水庫及南化水庫集水區，崩塌總面積為47,166公頃，比起2004年敏督利颱風所引起之七二水災，尚增加3,556公頃。此外，本研究中屏東縣K值分佈範圍為於0.020-0.030 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>之間，愈往南部的恆春高位階地上土壤K值有減少之趨勢。屏東地區之K值範圍落於0.007-0.021 t·ha·yr·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>之間，與前人顯著不同，此現象推論為土地利用方式於過去30年來明顯變化有關。本研究結果顯示30年前後之K值確實顯著變化。



表6 屏東縣、高雄市及臺南市山坡地基標土系之土壤沖蝕性指數

屏東採樣點 編號	土壤沖蝕性指數 K (t·ha·yr·ha <sup>-1</sup> ·MJ <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> )	高雄市採樣點 編號	土壤沖蝕性指數 K (t·ha·yr·ha <sup>-1</sup> ·MJ <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> )	臺南市採樣點 編號	土壤沖蝕性指數 K (t·ha·yr·ha <sup>-1</sup> ·MJ <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> )
Pt - 1	0.013793	Kh - 1	0.031229	Tn - 1	0.031067
Pt - 2	0.017812	Kh - 2	0.050963	Tn - 2	0.009703
Pt - 3	0.021647	Kh - 3	0.047840	Tn - 3	0.039012
Pt - 4	0.015107	Kh - 4	0.026865	Tn - 4	0.067171
Pt - 5	0.010693	Kh - 5	0.064541	Tn - 5	0.056312
Pt - 6	0.007589	Kh - 6	0.081972	Tn - 6	0.049789
Pt - 7	0.018618	Kh - 7	0.027017	Tn - 7	0.066122
Pt - 8	0.028770	Kh - 8	0.046945	Tn - 8	0.069659
Pt - 9	0.013586	Kh - 9	0.065341	Tn - 9	0.022417
Pt - 10	0.024245	Kh - 10	0.021050	Tn - 10	0.037025
Pt - 11	0.025995	Kh - 11	0.061132	Tn - 11	0.062332
Pt - 12	0.018373	Kh - 12	0.052958	Tn - 12	0.058969
Pt - 13	0.019889	Kh - 13	0.048159	Tn - 13	0.073091
Pt - 14	0.025565	Kh - 14	0.072335	Tn - 14	0.056138
Pt - 15	0.048882	Kh - 15	0.079669	Tn - 15	0.064706
Pt - 16	0.041295	Kh - 16	0.036390	Tn - 16	0.070789
Pt - 17	0.050415	Kh - 17	0.020840	Tn - 17	0.050346
Pt - 18	0.008125	Kh - 18	0.068948	Tn - 18	0.058638
Pt - 19	0.027657	Kh - 19	0.052532	Tn - 19	0.058728
Pt - 20	0.036744	Kh - 20	0.012922	Tn - 20	0.049871
Pt - 21	0.028663	Kh - 21	0.039637	Tn - 21	0.040217
Pt - 22	0.050165	Kh - 22	0.048444	Tn - 22	0.058129
Pt - 23	0.040506	Kh - 23	0.036484	Tn - 23	0.032651
Pt - 24	0.025326	Kh - 24	0.072191	Tn - 24	0.034517
Pt - 25	0.026048	Kh - 25	0.049448	Tn - 25	0.063554

表7 臺南市、高雄市及屏東縣山坡地表土(0-30cm)土壤性質

縣市	砂粒	粉粒	黏粒	有機質	導水度	總體密度	含石量	團粒穩定度
	----- % -----				mm/hr	g/cm <sup>3</sup>	%	mm
臺南市	36.5 ± 20.6	46.2 ± 15.4	17.3 ± 7.46	2.42 ± 1.26	703.0 ± 1,320	1.36 ± 0.16	9.2 ± 19.2	0.26 ± 0.25
高雄市	45.8 ± 19.1	37.5 ± 14.0	16.7 ± 9.73	2.06 ± 0.79	772.8 ± 1,955	1.26 ± 0.30	18 ± 18.7	0.60 ± 0.48
屏東縣	48.8 ± 18.4	34.0 ± 12.6	17.2 ± 10.1	2.36 ± 1.03	2,078 ± 2,647	1.35 ± 0.13	29 ± 16.4	1.22 ± 0.50

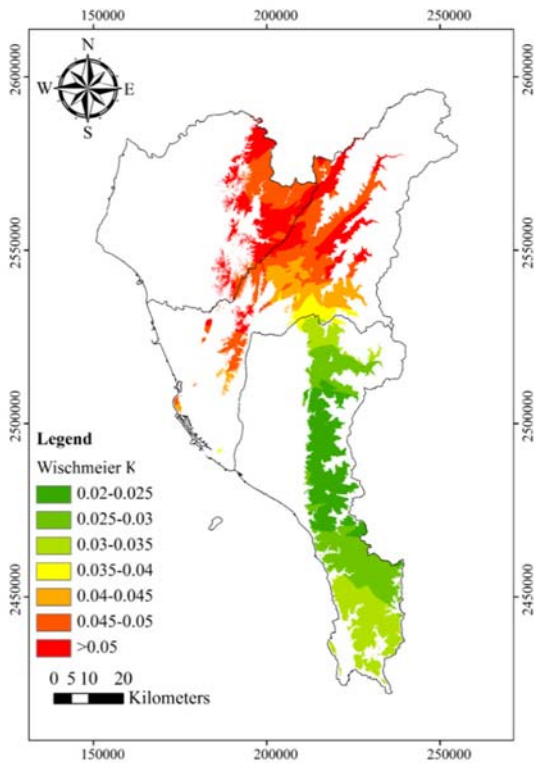


圖2 南臺灣山坡地之土壤沖蝕指數空間分佈圖(採用TWD97二度分帶座標)

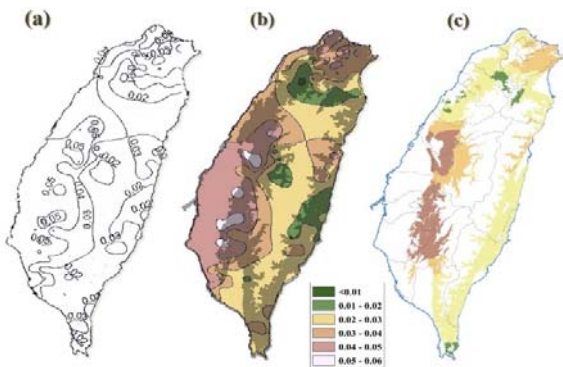


圖3 臺灣山坡地土壤沖蝕指數分布圖：  
(a)萬鑫森與黃俊義(1989)結果；(b)萬鑫森與黃俊義(1989)重新數化結果(克利金法)；(c)本研究結果(克利金法)。

### 3.3 土壤沖蝕指數與土地利用之關係

本研究以屏東為例，將屏東地區山坡地基標土系之土壤沖蝕指數(n=25)以土地利用

及土壤質地類型作區分(圖4)，結果顯示K值於不同土地利用類別上明顯具有差異。結果明顯指出以 Wischmeier et al.(1978)之計算方式較可區分土壤受沖蝕之敏感程度。在土壤質地的區別分析上，仍與以土地利用類別為區分因子之分析結果一致，K值於中質地之土壤顯著較高，指出中質地土壤較易受水蝕影響而泥砂流失。林與陳(2010)指出，目前通用之 Wischmeier 公式有使用條件之限制且較適用於壤土，當黏粒含量高於 25 %時在本研究中並不適合，且現有之土壤資料庫尚未建立完善，故利用較為方便取得之粒徑分佈資料進行土壤沖蝕性指數之估算實為一可行之辦法，亦可善加利用中值粒徑或是幾何平均粒徑並配合適當之推估公式以求得最佳之推估成果。

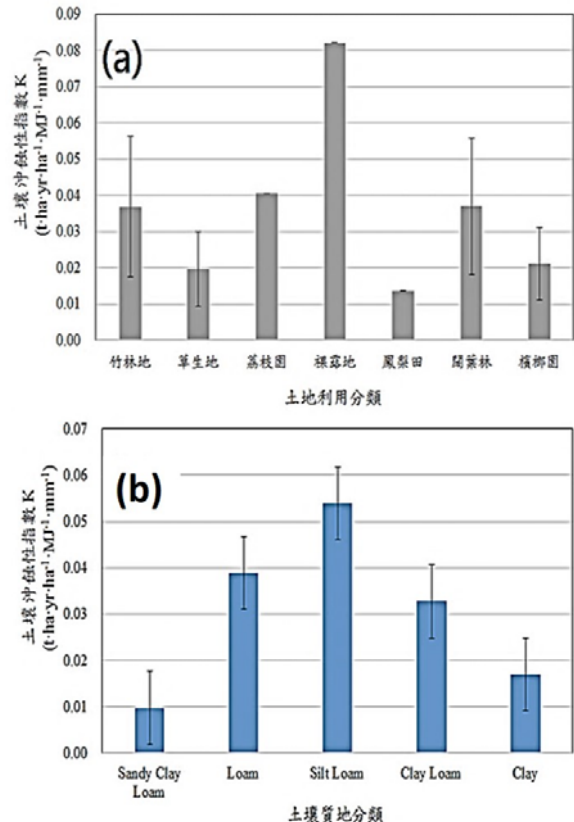


圖4 屏東地區之K值之分類(a)依土地利用分類，(b)依土壤質地分類





## 四、結論與建議

- 1.臺灣南部山坡地之土壤沖蝕指數往南部有遞減趨勢，其中屏東縣土壤風化程度較高，土壤中鐵鋁含量較高，土壤團粒化作用顯著，土壤沖蝕指數因而降低，土壤具有較高抗沖蝕能力。
- 2.本研究結果與1989年之臺灣土壤沖蝕分布相較結果，顯示以往K值分佈確與本研究值分佈具有明顯差異，尤以台南市南化地區及高雄市荖濃溪上游(甲仙區與六龜區)差異最顯著，K值由1989年的0.025增加至2016年的大於0.050，推論原因有二：一為該位置遭受嚴重土壤擾動，土壤越趨劣化；二為該區域由林地轉為農業利用而導致開發程度差異所致。
- 3.本研究採Wischmeier et al. (1978)公式計算土壤沖蝕指數(K值)，計算因子需要考量土壤團粒與導水度方較為準確，但建議未來可針對等級來修正計算方式以適切臺灣狀況。

## 五、致謝

本研究承蒙行政院農業委員會水土保持局(氣候變遷下開發行為土砂估算模式之探討，計畫編號：SWCB-105-054)經費支持，以利本研究順利進行，謹此致謝。

## 參考文獻

- 1.林俐玲、杜怡德、王仲豪(2001)，「土壤質地與K值相關性及空間變異性之探討-以東勢、國姓區塊為例」，中華水土保持學報，第33卷，第2期，第105-122頁。
- 2.林俐玲、陳品岡(2010)，「修正版通用土壤流失公式(RUSLE)之簡介」，水保技術，第5卷，第4期，第251-257頁。
- 3.黃俊義(1986)，「臺灣坡地土壤沖蝕性及流失量之推估」，中華水土保持學報，第17卷，第139-154頁。
- 4.黃俊義、萬鑫森(1994)，「臺灣坡地土壤沖蝕」，海峽兩岸農地水土保持學術研討會論文集，第186-213頁。
- 5.萬鑫森、黃俊義(1993)，「雲林、澎湖地區土壤沖蝕性及流失量之推估」，水土保持學報，第25卷，第1-12頁。
- 6.萬鑫森、黃俊義(1981)，「臺灣西北部土壤沖蝕及流失量之估算」，中華水土保持學報，第12卷，第57-67頁。
- 7.萬鑫森、黃俊義(1989)，「臺灣坡地土壤沖蝕」，中華水土保持學報，第20卷，第2期，第17-45頁。
- 8.萬鑫森、黃俊義(1983)，「臺灣南部土壤沖蝕性及流失量之估算」，中華水土保持學報，第14卷，第3期，第21-28頁。
- 9.台南縣山坡地土壤調查報告書。1986。臺灣省政府農林廳山地農牧局，南投。臺灣。
- 10.高雄縣山坡地土壤調查報告書。1986。臺灣省政府農林廳山地農牧局，南投。臺灣。
- 11.屏東縣山坡地土壤調查報告書。1984。臺灣省政府農林廳山地農牧局，南投。臺灣。
- 12.Le Bissonnais, Y. (1996), "Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: 1. Theory and methodology",



- European Journal of Soil Science, Vol. 47, No. 4, pp. 425-437.
13. Nelson, D. W., and Sommer, L. E. (1982), "Total carbon. Organic carbon, and organic matter, In Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D.R. (ed.) Methods of soil and analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties," Agronomy monograph No. 2. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA., pp. 539-577.
14. Parysow, P., Wang, G., Gertner, G., and Anderson, A. B. (2003), "Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation", *Catena*, Vol. 53, No. 1, pp. 65-78.
15. Roose, E. (2003), "Soil erosion research in Africa: A review". In: Gebriels, D., Corneils, W. (eds) 25 years of assessment of erosion, Proceedings of International Symposium. Ghent, Belgium, ICE and Universiteit Gent, pp. 29-43. Dep. Agric. Handb., No. 537.
16. Wischmeier, W. H., and Mannering, J. V. (1969), "Soil and water management and conservation. relation of soil properties to its erodibility", *Soil Science Society of America, Proceedings*, Vol. 33, pp. 131-137.
17. Wischmeier, W. H., and Smith, D. D. (1978), "Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning", U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Handbook*, No. 282.
18. Wischmeier, W. H., and Smith, D. D. (1978), "Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning", U.S.
19. Zuazo, V. H. D., Martínez, J. R. F., Pleguezuelo, C. R. R., Raya, A. M., and Rodríguez, B. C. (2006), "Soil-erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (SE Spain): implications for sustainable agriculture", *Environmentalist*, Vol. 26, No. 4, pp. 309-319.



## 英國農場可再生能源的成本，收益和限制：對台灣的可能影響

### The costs, benefits, and constraints of on-farm renewable energy projects in England: Implications for Taiwan

蔡驩曦<sup>1</sup>

Huan-Hsi Tsai<sup>1</sup>

1.行政院農業委員會水土保持局臺南分局 正工程司

1.Tainan Branch, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture,  
Executive Yuan, Engineer

#### 摘要


本研究調查英國農場採用農場可再生能源的成本，收益和制約因素及對台灣影響。農場可再生能源為水、土、田、糧、風、陽光等自然資源整合應用。本研究以案例分析訪談農民、現場考察和觀察進行。英國農民將農場可再生能源視作農業多元化手段，再生能源電能躉購制度政策影響農場可再生能源投入。英國案例傾向使用風力再生能源模組，台灣則以太陽能優先。農業光電系統和浮動式太陽收入能讓小農和水產養殖農民維持農業，另可考量將部分稻田多元化為太陽能農場。

**關鍵字：**糧食安全、農業多元化、農場可再生能源、太陽能光電、風力發電機、生質能源、再生能源電能躉購制度

#### Abstract

In this research, the author tried to understand the costs, benefits, and constraints of on-farm renewable energy projects by three different cases in East Midlands. On-farm renewable energy is the integrated application of natural resources such as water, soil, land, plantation, wind, and sunlight. Three valid cases surveyed through interviews with farmers, site visits and observation. British farmers are willing to adopt on-farm renewable energy as diversification. The “Feed in Tariff” policy strongly affected on-farm renewable energy projects adoption. British farmers preferred to choose wind turbine projects to maximize their power generation, instead of solar PV projects. In Taiwan, solar PV project is a better adoption. The income of agrivoltaic system and floating solar system support smallholder farmers and aquaculture farmers to keep on their main business. Diversify surplus rice field to solar farm is also viable.

**Key Word :** Food Security, Diversification, On-farm renewable energy, Solar PV, Wind turbine, Biomass Energy, Feed in Tariff



農民不僅是食品供應商，在21世紀扮演著溫室氣體減排的重要角色。本研究目的係了解英國不同種類的農場可再生能源的成本，效益，限制和驅動因素，以提供台灣的相關應用。本研究將分別就農場可再生能源和糧食安全、英國農場可再生能源項目的成本、收益及制約因素，及可能適用於台灣實際的農場可再生能源工程項目進行分析。

## 一、緣起

台灣預定在2025年將達到「2025年無核國家」的目標。在2025年，可再生能源的佔全國發電比例預定提高到20%[1]，太陽能發電、陸域風能及生質能將為台灣電網產生超過65%的可再生能源[2]。然受限於台灣土地狀況，大部分可再生能源，太陽能，陸域風能和生質能預估將在相對較大的農村地區而非人口稠密的都市地區生產，近年台灣鄉村地區也常見新興的可再生能源發展，但「農民只能生產食品」或「以經濟因素處理可再生能源生產」的矛盾也是必須討論[3]。對於台灣的糧食生產與可再生能源的競爭或合作，需尋求有效解決。

英國在2020年前必須實現其20%的可再生能源目標[4][5]。英國的農業非高收益產業，英國的糧食自給率遠比30年前低[6]，但以農場價格計算，英國農業仍然產生了超過60%的原材料提供給農業-食品工業(Agri-Food Industry)，農業-食品工業也是英國最大的製造業，生產價值超過千億英鎊[6][7][8]，同時，70%以上的英國土地仍由農民保護和管理[9]。與我國現況相似，英國35歲以下農民只占3% [8]，若以2015年農場收入比較，英國的家禽養殖農場收入最高的，穀物種植農戶收入屬整個農業的中等收入[10]。

部分批評者認為農業領域的溫室氣體排放量很高[11]，但在1990年到2015年，英國的農業整體排放量顯著下降了17%[12]。目前英國農業部門是其風能，太陽能發電和生質能等再生能源的重要供應者。估計約為整個英國發電量的1/10[7]，超過三分之一的英國農民擁有各種可再生能源項目[13]。英國

## 二、文獻回顧

本研究將先就可再生能源項目的定義，農業和可再生能源之間的關係以及基本的糧食安全議題等相關面向進行討論。

### 2.1 可再生能源，不可再生能源和農場可再生能源定義研究區域

可再生能源被定義為「從自然環境中可不斷或重複出現的能量中獲得的能源」，持續的自然資源如日照、風力、生質、地熱、河川流水、海洋的波浪和潮汐等都被歸類為可再生能源系統[14]。除潮汐和地熱外，太陽能，陸上風能，生物質能和部分水電等大部分可再生能源都在鄉村地區廣闊的農田上取得，其主要能源都是太陽輻射的太陽輻射轉換而成[15]。太陽能光電是太陽光直接轉換成電能[16]，風則是由太陽加熱空氣，在地球表面的不同大氣壓力下移動[17]。由於生物能源產生的關鍵機制是光合作用和碳水化合物[18]，故生質能也與日照有關。故食品和可再生能源之間的太陽輻射轉化的差異在於產品使用者，食物是用於人類飲食和動物飼料的光合作用的產物，但是可再生能源只是為了人類的需求而產生的。表1顯示了化石燃料和可再生能源的區別如下：



表1 化石燃料和可再生能源的簡要差異

能源種類	2014 年市場比率(%)	使用後可自然可補充?	排氣對人及環境有害?	顯著的社會不公義?
不可再生能源 (石油、煤炭及天然氣)	81	否	是(CO <sub>2</sub> ,NH <sub>4</sub> 和 SO <sub>2</sub> 為主)	是
可再生能源	13.8	是	少(Few)	少(Few)

來源: IEA,2016[19] and Everett,2012[16]

歐盟委員會(European Commission)將農場可再生能源定義為:農場可再生能源係在農場生產;農場是依靠生物過程生產農產品的經濟型企業,農產品是由自然資源如土地和/或非鹽水產生的食品,飼料,纖維,其他天然材料,燃料等,系統產生的可再生能源由投資或操作的農場或法人進行自用或輸出[20]。可再生能源的生產和使用在農業創新,競爭力,生態系保護,減排等方面發揮著重要作用[21],可再生能源被視為農村發展的一部分[3][22],同時農業需要減少化石燃料使用和生產可再生能源[20],有效益的農場可再生能源是歐洲農業,農村發展和消除溫室氣體排放的一項關鍵因素。

## 2.2 農場可再生能源的成本,效益,限制和驅動力

由於近年來農業生產的價格和收益不盡合理[10][23],農場可再生能源是農民的多元化經營的一種選擇。除了全球糧食危機的非常時期之外,英國的農業收入趨勢在1995年至2015年的過去20年裡顯著下降。儘管歐元和英鎊間匯率下降,農民所獲得的直接給付增加約18%,但企業化農民之農業勞動力年度農業收入總額仍下降7%,2015年至2016年

仍低於19,000英鎊[24],故農民的另一種收入至關重要。Sutherland研究,農民投資並尋求農場可再生能源,如風力發電機組,以增加有利資本回報的長期經濟可行性,以多元化經營及可受益資本所得來確保他們的農場[25]。在捷克類似研究中採用可再生能源技術的農民的主要原因是經濟多元化和穩定農場業務[3]。如果可再生能源技術是為了經濟多元化目的,那麼任何計劃參與這個領域的農民都必須認真考慮成本,效益,限制和驅動因素。

### 2.2.1 成本

成本是農民在可再生能源項目投資前應該重點關注的第一個項目。在希臘,通過評估加權平均資本成本(WACC)分析,陸上風電WACC約為百分之十二,但太陽能光電的成本在2016年已經略低於陸上風電成本[26]。而在英國,可再生能源的申請是一個重要的成本,因為申請並不一定會被地方政府批准。儘管農場可再生能源是合理利用農業資源,賺取非農業收入及降低農業經營成本,但包括交易成本在內的全部成本,如申請期間的正式社區對話,規劃和應用過程中的磋商和參與,甚至最終無利可圖的可再生能源投資都是由所有者或投資者自行付費[25]。

隨著技術創新的發展，可再生能源的成本下降趨勢明顯。依斯旺森定律：由於半導體產量較高，太陽能電池性能較好，太陽能光電板市場價格在太陽能光電安裝量累積增加一倍時，平均價格平均下降1/5[27]。預測到2020年，在美國的電場規模(大於1000kW)的太陽能光電站與傳統天然氣發電廠相較，將具有成本競爭力，商業規模(100~1000kW)的太陽能光電站，即使沒有任何政府補貼，也將在10年內具有成本競爭力[28]。同時風電成本也持續下降，例如2007到2016年，中國風機價格下降了近40%[29]。

## 2.2.2 收益

效益是影響農場可再生能源參與的另一個因素。自2010年以來，英國的大部分農場可再生能源項目都受到「再生能源電能躉購制度」(Feed in Tariffs, FiTs)的支持，在固定時間內強制性地支付可再生能源項目所產生的電力，並提供保證一定發電量接入國家現有電網[22][30][31]。2015年底，有110個國家/地區/國家製定可再生能源聯網電價政策，台灣和英國分別於2009年和2010年都制定了「再生能源電能躉購制度」政策[31]。由於煤炭燃燒帶來的負面外部效應可以轉好的空氣質量，費用不由政府支出，而由電力消費者付費。同時政府也可以從不同農村地區獲得投資可再生能源的許多農民獲取政治利益[22]。在英國，總裝置容量小於5000kW的可再生能源發電系統(包括太陽能發電、風力、厭氧消化槽Anaerobic digester 3類)可以適用再生能源電能躉購制度[32]。農場可再生能源生產也可能正面影響糧食安全和農業生產，如太陽能板與綿羊、雞或蜜蜂的放牧棲息地共存，可以保持農村生態，糧食生產，減少

地面植被維護的需要，同時加強土壤沖蝕的防治[33]。

## 2.2.3 制約阻力

農場可再生能源的規範、財務、社區、技術和市場等制約因素相互影響農場可再生能源發展。這是因為「農業的多重功能反映在農業和電力部門之間的自然資源獲取的競爭中」[34]。鄰避效應(NIMBY-ism, Not In My Back Yard)是在地社區產生主要制約，並導致可再生能源專案被擱置或廢棄，民眾對陸上風力發電機組的態度係要求不破壞景觀，故英國開發商學習鄰避效應來建構社區反對民眾意見模式[35][36]。另一方面，若是申請案可克服上述各種投資限制，英國農民多會以延長可再生能源投資回收期進行投資[37]。當各項環境影響分析影響都通過，但景觀、噪音，甚至健康和安全等不同影響問題及在地社區的強烈抵制，一半的陸上風電機組申請無法通過[38]。

另一方面，太陽能光電安裝主要挑戰是技術、相關研究和政策，但太陽能光電對環境影響較小[33]。在英國，大型太陽能發電場被視為臨時性結構，其景觀和視覺評估均與風力發電機組相同，但實際視覺影響可以視為趨近於零[39]。

## 2.2.4 推動因素

高再生能源電能躉購價格，方便的接入電網和低傳輸費率是促進歐洲和北美可再生能源的主要驅動力[40]。在英國，可再生能源技術的創新系統也因為技術成熟度、不同可再生能源項目的創新體系和新政策手段在農場可再生能源工程建設中發揮重要作用[41]。德國巴伐利亞研究發現，農場可再生

能源生產受到國內電網淨轉換能力，農民專業化程度及當地社區影響[42]。農場可再生能源的驅動因素在財務，政策，業務和創新方面相互結合或影響。

### 三、研究方法與材料

農場可再生能源工程模組與農地，農民相連結，農場可再生能源與傳統農業生產相同，都是一種追求收益的產業。不同農民採用可再生能源工程模組的經驗，可提供判斷可再生能源在不同地區實用性的重要資料。筆者實際訪問英格蘭東密德蘭(East Midlands)已投入農場可再生能源生產的3個農場，以案例研究來發現不同規模的可再生能源工程模組的效益。

案例研究是關於目前現象與內容背景之間的界限不明顯時，現實世界背景下的當代現象的經驗研究[43]。案例研究可以用在遭遇描述性或可解釋性的問題時找出「如何」或「為什麼」，例如，農村開發商與當地環境保護者之間的爭議或決策可以通過案例研究來了解[44]。研究者不能或很難控制研究課題或事件，而當前現象是由受訪者以自己經驗表達出來。本研究試圖進一步了解對台灣農民進行農場可再生能源的可能影響。

本研究採用定性研究來評估農民為什麼選擇具體的農場可再生能源工程模組，定性研究方法有助於了解當地農民對農村可再生能源項目的評估。農民是一個特定的農村景觀中具有不同動機或經驗的特殊「亞文化群體」[45]，通過定性研究了解農戶採用農場可再生能源項目的原因和方式。為了解採用農場可再生能源項目的成本，效益，制約因素和驅動因素，假定每個農民採用可再生能

源，受多種因素影響的不同類型的成本，收益，約束和驅動因素，如農民對可再生能源的個人態度，財務狀況，農民社區和政府影響的製約因素，項目的成本和收益，使用不同能源模組的機會和資源。本研究試圖「出於可預見的原因，預測相似的結果或預測對比結果」[43]，通過評估不同案例了解英國農場可再生能源狀況。

本研究應用基本需求-供給定律設計調查問卷。為使受訪農民了解問題，提出真實意見，本研究於2017年7月實地訪問在英格蘭東密德蘭3處於2010年後投入農場可再生能源生產並實際持續農業生產農場及其經營農民。採訪問卷設計分為5個部分，包括：

- 1.農場和農民的基本資訊。
- 2.農場可再生能源成本。
- 3.農場可再生能源效益。
- 4.農場可再生能源制約因素。
- 5.農民採用可再生能源之驅動力。

東米德蘭是英格蘭9個區域之一，是英格蘭農業用地比例最高的地區，也是英格蘭第2大小麥和油菜產區[46]，農業旅遊比例則較低[47]。東密德蘭狀況與台灣南部地區相近，南部係我國主要農業區，農業旅遊較不發展，但太陽能 and 生物質能相對充足。研究訪談問卷設計如表2：

本研究每次訪談都是一個獨立的案例。經由實際農民訪談與現地觀察，了解英國農民投入可再生能源開始規劃到與國家電網串接後的成本，效益，制約和驅動因素，期待提供我國日後推動農場可再生能源生產之參考。所有訪談都被轉錄到轉錄文件中，並以定性研究軟體Nvivo編碼提供進一步研究[48]。

表2 研究訪談問卷題目

	問題
基本資訊	1.農場位置 2.農場規模 3.所有權類型 4.農業生產類型 5.農民實際從農時間 6.可再生能源模組種類 7.能源生產量 8.可再生能源模組營運時間 9.農場特殊資訊 10.農民資訊
農場可再生能源工程模組之成本	1.農民已投資金額 2.如何募資 3.農民如何尋找專業諮詢及計畫時間 4.可再生能源工程模組對農業生產影響 5.農民獲得可再生能源模組運作許可所投資時間與金額、及須配合作為。6.可再生能源模組年度維護費用 7.可再生能源模組 20 年後除役所需費用
農場可再生能源工程模組之效益	1.可再生能源經濟效益 2.可再生能源只對外輸出或部分自用，農民如何與電力公司簽訂合同 3.可再生能源模組對農民原有農業生產有無益處 4.可再生能源模組的非財務收益 5.可再生能源模組的其他效益
制約因素	1.可再生能源模組的法規限制 2.模組的財務限制 3.社區反對意見 4.科技面限制 5.市場限制 6.其他
驅動力	1.業務或財務驅動力 2.受政策驅動因素 3.其他驅動力量 4.未來仍對可再生能源模組投資與否?

表3 研究案例的可再生能源類型和發電量

案例	案例 A	案例 B	案例 C
可再生能源 模組種類及發電量			
Solar PV 太陽能光電	屋頂型，小於 50kW	屋頂型及地面型， 小於 300kW	地面型，5000kW
Wind turbine 風機	未獲政府許可	超過 300kW	未獲政府許可
Biomass 生質能	-	-	200kW 供熱用
Size 發電量	小型非家戶型光電 [98]	中型風機+商用太陽 能光電	大型公用事業等級太陽 能光電站[99]

農民是匿名方式受訪。所有的受訪農民都從事農業生產超過40年。他們的農場面積在100到300公頃，農地由農民擁有或承租。農民種植或種植不同的農產品，如牛肉，小麥，油菜和甜菜，農業生產是他們的核心產業。由政府支付的環境農業費用是農場另一個主要收入。所有的農場可再生能源工程模組都是在2010年之後架設(英國開始採行再生能源電能躉購制度政策後)。每一個案農民在開始時都申請太陽能模組，之後又申請風力渦輪機，但是只有經過長期(且持續中)的法律爭訟和重新申請之案例B風機獲得許可。只有案例C採用了生質能模組。除了一個公用事業規模的太陽能電站(案例C，5000kW)外，另外兩個農場可再生能源項目由農民自主擁有(案例A、B)。每種情況下的發電量如表3。



圖 1 案例 B 風機(容量超過 300kW)



圖 2 案例 C 太陽能光電站(容量 5000kW)

## 四、研究成果

經研究，農場可再生能源項目的成本，效益和製約因素相互連結與影響。但是，由於可再生能源的申請與產出受到人為因素和自然因素的強烈影響，某些特定因素是最關鍵的決定因素，這些特定因素也導致了所有案例的農民意外的額外成本和時間損失。以下分4部分討論農場可再生能源成本，收益，制約和驅動因素。

### 4.1 農場可再生能源的成本

從可再生能源項目個案分析，就成本面有5個主要成本支出，分別為財務成本、計劃和維護成本、農業受可再生能源模組影響的成本、法律規範成本、可再生能源模組汰除成本。

#### 4.1.1 財務成本

不同的農場資源狀況所遭遇財務成本是影響農民參與可再生能源項目的主要考量。首先，近年來太陽能光電板的財務投資較為便宜，幫助農民輕易將小型非住宅太陽能光電系統安裝在農場。案例A與B農民訂購第2組太陽能光電系統時，光電板單價較首次購買大幅下降。如案例A實際成本，第2次安裝太陽能光電(38kW)容量比第1次安裝(10kW)高近4倍，但光電價格僅為2.37倍，另電力公司給付農民的金額顯示，因電力收購價格降低，第2次太陽能系統的年度收益不如第1次高。

家庭成員是幫助農民投資可再生能源項目的主要支持者或資金來源(如案例A)，銀行也向農民提供貸款服務(案例B)。如果該項目是公用事業規模(案例C)，農民可以成為可再

生能源項目的合作夥伴，租用他們的土地獲得收益，而不需要支付任何其他的資本成本。如果可再生能源模組是規模較小且可負擔，英國農民傾向以自有資金投資或者向銀行貸款投資(案例A和B)，如案例A的農民說：「我的妻子有錢投資，沒有借款，個人理財」。但如果農戶需要向銀行借貸投資較大型農場可再生能源，其農地須作為抵押品，即使土地價值遠高於所需貸款的情況，案例B做為抵押品的土地價值達數百萬英鎊，但風力發電機僅需申貸50萬英鎊，這是農民不得不承擔的另一個代價。

#### 4.1.2 計劃和維護成本

英國農民很容易在地區農業展找到可再生能源的設計者，承包商或顧問，但是顧問公司品質不一，且對太陽能光電系統售後保固並不牢固(案例A、B)。事實上，隨著英國近年來可再生能源的發展快速，農民們抱怨諮詢師的素質並不專業，農民也自信能較再生能源專業廠商更快地自行解決太陽能問題。但風力電機申請的前期規劃成本甚高，所有調查和評估均必須在申請風機設置許可前完成，風機規劃成本約為風機價格的1/7(案例B)。

風機需要持續維護，以保持風力發電機日夜正常運作，案例B農民需要與製造商簽訂長期維護合約(15年)。但是太陽能光電系統則僅是簡單的電錶，面板和變壓器的組合，農民可輕易自己維護，維護費幾乎為零(所有案例)。不論風力或太陽能，農民沒有需要僱用任何額外的人力來維持可再生能源模組運作，每座農場都是維持原來人力生產農產品。但目前在台灣鄉間，多由專業公司提供太陽能系統設置與串聯電網服務。

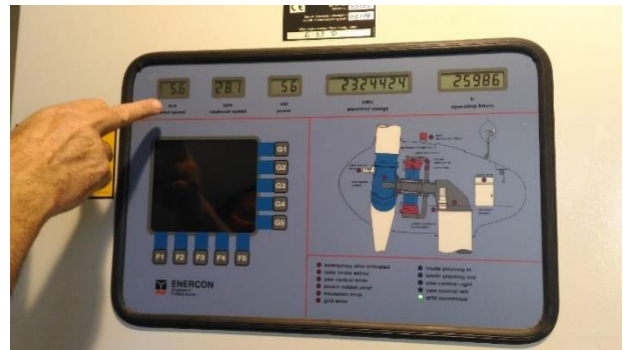


圖3 案例B 風機由製造商遠程監控和維護15年



圖4 案例A 太陽能光電系統僅由簡單的電錶和開關控制



圖5 案例B 太陽能光電安裝在農業設施建築物屋頂

#### 4.1.3 農業受可再生能源模組影響的成本

可再生能源模組是否影響糧食生產或糧食安全常有所爭論，但本研究各案例農民均認為可再生能源項目不影響農業生產，因太

陽能光電模組通常使用邊際農田，或使用地面面積有限，或可使用農業建築屋頂，風力發電機組所需基礎面積也有限。

#### 4.1.4 法律規範成本

在英國，太陽能光電系統設置許可申請容易且過程較簡單(情況A和B)，但很難找到一個真正的風機專業顧問，並排除所有阻礙完成申請設置風機(如案例B)，風力發電機組及其各項規劃都非常昂貴，農民必須完成所有的規劃和調查後，才能申請風力發電機組(所有案例)。案例A的農民花費大量時間和金錢來申請風機許可，但社區反對，預計不會獲批准。案例C因鄰居農戶已經安裝3具大型風機，案例C農民雖與社區溝通完成，但政府決定不發許可再新設風機，政府行政權明顯影響農民投資成本支出。

#### 4.1.5 可再生能源模組汰除成本

除了在案例C農民和投資者之間的合同中已詳述5000kW太陽能電廠屆期拆除，其餘案例農民不確定如何在20~30年後汰除不符效益之可再生能源模組。

#### 4.2 農場可再生能源效益

關於效益，這是農民投資農地可再生能源項目的另一個決定性因素。如果發電容量不大於5000kW，英國「再生能源電能躉購制度」政策是吸引農場可再生能源投資的動力。案例A小規模太陽能模組，雖效益不如較大型的可再生能源，投資約13年就可回收。案例C的大型太陽能發電站之財務效益只是地租收入，但收益是同一地塊維持放牧的8倍。案例B的好處是風能和太陽能項目的結合，

發電時間延長，產能提高，為收益最高案例，風力年收益達到20%。


本研究之案例均可將農場可再生能源所產生的絕大部分電力出口到國家電網，在英國，農民可以與任何電力公司簽訂合同，同時也有專業仲介人協助向第三方搓合出售農場可再生能源的電力(案例B)或由外部投資者自行處置(案例C)。

面臨英國脫歐，雖然農業生產與環境農業是所有農民的主要關注事業，各案例農民預期未來政府的直接支付將減少，農民同意現有可再生能源項目創造新且長期的高「回報收入」，以減少農場能源支出和以可再生能源受益來計劃和投資農場事業。同時所有的農民都表達他們正在為緩解氣候變化，保護環境，野生動物生態和下一代未來作為他們的非經濟利益作出貢獻。

#### 4.3 農場可再生能源的限制

所有的農民都因為較少的監管限制，而對他們的太陽能模組感到滿意，但他們都抱怨風力渦輪機政府管制，因為每一項設置風機前必要的調查評估都已經通過。農民抱怨政府不能接受風力發電機組的許可，他們批評政府政策不一致，或是因為反對意見而不批准案例A風機設置，或擱置案例B的可再生能源計劃，甚至案例C認為鄰居被許可，為何自己申請被拒絕是不公平的。

財務限制並不是農民參與可再生能源生產主要障礙。所有案例都表明農民家庭態度對可再生能源項目是積極的，甚至家庭成員也是幫助農民投資可再生能源項目的主要支持者或資金來源。



近10年，3組農民均認為英格蘭地區變更濕暖，農田遭受過往未發生的嚴重土壤侵蝕。認知燃燒化石燃料是全球氣候變化的主要原因，農民有強烈的意願生產綠色能源，他們提到“don't shut the door when the horse is gone”，受訪農民都關心農業的未來，他們相信「未來依賴於我們現在所做的」，「人不會永遠在這裡(案例C)」。但若政府的支持不夠穩定，農民也無法說服反對人士，農民傾向退出可再生能源投資(案例B)。

社區少數民眾的反對意見是農民投資風電最大障礙，因為這個申請會被地方政府擱置。反對風力發電機組的少數民眾盡可能多地採取措施封鎖計劃(案例A和B)，反對者甚至以多年時間來與當地政府(非申請設置許可的農民)進行法律訴訟。筆者實際拜訪農民時，在農場看不到其他鄰居的房子，這些農場的可再生能源項目也是孤立存在的，故筆者質疑所謂鄰避效應範圍是意指「無邊際的廣闊後院」。由於法庭訴訟和重複申請的額外交易成本(transaction cost)使農民受到更多損失。另一方面，太陽能光電模組在農業建築物的屋頂或農民個人擁有的財產(邊際土地)上的視覺影響相當有限，無社區反對狀況下，農民可以擁有自己的太陽能項目，也可以將個人的邊際土地出租給外部太陽能投資者。

多元化收益是農民投入可再生能源初衷，可幫助他們繼續以農業生產為核心業務，因為農民們相信全球氣候變遷正發生，也顧慮偏低的農業收益及英國脫歐後可能政府補助會減少。實地訪查後，本研究發現的所有農民都有強烈的意願來開發他們的農場可再生能源項目，但也都面臨著與當地社區對風能項目反對意見相同的制約。

技術上的限制不造成農民投入可再生能源障礙，事實上，可再生能源技術使用相當簡單，農民也能理解其原理(案例A、B)。因為政策要求，市場普遍接受農場再生能源之綠電，但是電網(Grid)可能會在不同的地區面臨輸配線網絡連接問題，不同農場所生產之能源需要競爭方可連接電網。

另就公益而言，電力收購制度下，農民可持續農業發展，由再生能源產生穩定收入，也為公眾維護了永續環境。當農民引導作者實地考察時，農民談到他們把傳統農產品轉移到有機農業上(增加收入)，或者耕地採用輪作制度減少化肥使用(降低成本)，也種植了矮綠籬等來減少水土流失，另外在太陽能電站放置蜂箱養蜂，以利周邊作物授粉，所有的農民一直努力增加農場獲利，降低農業成本，以可持續的發展觀念保持農場運作。本研究現場訪談觀察到罌粟花、薊等不同的溫帶野花在麥或油菜植物中生長(非有機田地)，雉雞、鵪鶉和野兔在太陽能光電板下草地繁殖，可見農場可再生能源項目不僅與農業生產共存，也有利於農地自然環境。

## 4.4 農場可再生能源的驅動力

由於體認氣候變化加劇，農產品價格下降以及未來政府支付的不確定性等原因，且農業屬於弱勢產業是農民投入可再生能源模組的商業驅動力。農業生產的脆弱性和高收益再生能源電能躉購制度是「推與拉」的因素，農民選擇為將來「投入可以最大的收益的產業(如案例B)」。這項研究中的所有農民都認可可再生能源項目是一個長期的多元化經營。



## 五、討論

以下討論所有案例之農場可再生能源模組訪談資訊，並嘗試提出適用於台灣農場可再生能源模組。到2020年，歐盟20%的能源消耗總量規定由可再生能源產生[4]，由於東密德蘭地方政府對可再生能源模組許可核准與否的態度標準變動，所有案例農民都對主管機關提出不同抱怨。所有案件都有獲得了太陽能光電項目的許可，例如太陽能模組位於屋頂且內縮於屋頂上，或者所有地面型太陽能光電所需調查都通過，均有獲准設置，但在獲得風力發電機組許可上，受訪農戶全有困難。

### 5.1 英國農地再生能源侷限因子綜整

#### 5.1.1 農場可再生能源的成本

近年太陽能光電板價格確實依斯旺森定律下降，農民投資太陽能項目比較容易。案例A和B都表示，供應商在訂購第二批太陽能模組時提供了更便宜的光電板單價，但日後太陽能電池板如何回收是有疑慮的，需要適當的政策支持，歐盟也認定回收的責任屬於整個能源行業[49]。儘管歐盟要求所有太陽能光電板輸出到歐洲市場的生產商，以2012年「生產者延伸責任原則」(extended-producer responsibility principle)當基礎，為太陽能光電板「終身」(end-to-life)的回收成本提供資金[50][51]，但實際回收情況多年後方可證實。

本研究的案例C公用事業級規模的太陽能發電場成本在2011年時仍是高價，但沒有補貼狀況的太陽能每度電均化成本(the levelized cost of energy, LCOE)預計仍將繼續

下降，在東米德蘭的公用事業規模的太陽能發電場的每kW時LCOE估計為2015年下降至0.09英鎊，2020年為0.07英鎊，2025年為0.06英鎊，商業型屋頂太陽能項目的LCOE和住宅屋頂的太陽能項目的LCOE都假設為下降[52]。雖近年風電機組產生更多的電能，且LCOE較低，預計2010年的LCOE為80美元/1000 kWh[53]，2015年太陽能光電發電在58個氣候國家的平均披露資本支出(\$ M / 1000kW)為2.15，略高於2.02的海上風電[54]，但預計太陽能的LCOE將在未來十年相等甚至更低，太陽能光電項目可能是未來較具競爭力的可再生能源模組。

#### 5.1.2 農場可再生能源收益

值得注意的是本研究的英國農民均抱怨風電模組的設置許可，沒有人強調太陽能光電的好處。本研究之風力發電機組是一個最有利可圖的農場可再生能源項目，太陽能光電相對僅是簡單，安靜，可行的「次優」選擇，訪問可知農民較傾向風機，符合農民儘管已「表達了對可持續性的承諾」，選擇可再生能源模組，農民仍傾向於最大限度地獲得經濟利益[55]。同時因農民的環境意識而種植農場矮籬或轉成有機農業，其經濟效益並不大[56]，另依農業環境多元化(agri-environment diversification, AED)研究可知，具有環境意識、參與環境農業的農民可能轉向參與可再生能源生產[57]，本研究3案例確實均如此。

另由案例B農民表示，近幾年在同樣的模組容量，風機經濟效益約為太陽能2倍。一般來說，由於英國的天氣多雲，英國的風力渦輪機年容量因子約為25%至40%(容量因子



(Capacity factor)是發電廠的平均發電量除以額定容量，而太陽能光電電池板的風力機年容量係數僅為10%左右[58]。英國風力渦輪機的平均負載因數可比太陽能光電電池板高出約2倍以上[52]，這也證實風機產生收益確實較高。

### 5.1.3 農場可再生能源的制約限制

「不在我的後院」(NIMBY, Not In My Back Yard)是一個抽象的概念，「後院」(BACKYARD)面積有多大是有疑問的[35]，雖然相當多風機以較「低」的高度(案例B)申請安裝，但英國陸上風機僅有低於50%申請被核可[38][59]。3案例的農民們懷疑因為社區的反對意見是阻礙風電從政府獲得許可的主要障礙。另一研究發現，為了風能發展正向效果，風能投資者、當地居民的支持及地方政府的「順暢的行政處理計畫」(smooth administrative handling projects)之間存在著密切的連結；地方政府也需要同時滿足「前瞻的許可程序」(forward admission process)和「平衡各方利益」[60]。

### 5.1.4 農場可再生能源的驅動力

本研究確認弱勢的農業為推動農場可再生能源的主要驅動力。在東米德蘭，農業不是一個有利可圖的生意。2011年至2015年間，東米德蘭的農業總收入下降約29%，同一時間，全英格蘭下降僅為24%，但東密德蘭是英格蘭主要農業產區，該區生產佔全英格蘭超過1/5的小麥，超過1/4的油菜，約1/3蔬菜和1/4的甜菜[24]。農民需要獲利，農場可再生能源預期收益驅動農民投資。

## 5.2 台灣農地發展再生能源相關法規與侷限因子

在英國，在再生能源電能躉購制度支持下，農民可以通過農場可再生能源和傳統農業相結合的方式繼續農業生產。通過農場可再生能源項目，英國農民實現了盈利多元化，改善了農村發展，並在新的衝突源頭中發揮了食品生產者和清潔能源生產者的作用[61]。太陽能項目的經濟效益目前雖低於風電項目，但由於先進的技術和整個太陽能產業鏈的效率提高，未來將會改善[52]。在這項研究中，英國農民(如案例B、C)可以依靠農場可再生能源項目的農業多元化經營來實現長期的農業生產。

反觀在台灣的自然條件與農戶農地狀況，卻與英國有相當差異。就台灣農場再生能源目前發展相關法規及侷限因子分述如下：

### 5.2.1 台灣農地發展再生能源相關法規與可能侷限因子

目前我國農政機關對於農地結合綠能設施以農地農用及維護農業生產環境之原則，在實際農業經營農地上，綠能設施不得影響農業設施內之動植物生長，不利農業經營地區設置綠能設施者，也需考量未來耕種的可恢復性與農地永續利用。綠能設施總面積，不得超過申請設施所坐落之農業用地土地面積70% [62]。但這些規定都與投資人投資效益顯有牴觸，考量農地永續利用或土壤劣化狀況與現實綠能投資收入互相牴觸。

### 5.2.2 台灣農場之陸域風能工程考量及侷限

台灣西部海岸是全球最好的海上風電場之一[29]，但台灣陸上風能有限，只有7.47%風電資源總量存在台灣陸地上[63]。受台灣海峽地形效應影響，台灣主要陸域風場及現有風力電廠位在桃園到雲林一帶海岸，一般



平原或丘陵地農場較無條件設置，也存在著強大的社區鄰避效應主張(NIMBY-ISM)，台灣無歐洲推動再生能源相關法律，例如丹麥風電項目開發商以採用能源合作社的規定，向住在一定距離( $R \leq 4.5\text{KM}$ )的社區居民提供20%以上的股份權[60]，故為解決台灣不同的環境影響案例需要通常賠償和談判[64]。

另外越大型風機效率越高，每kW小時成本更低。但台灣小農所擁有的平均土地面積很小，渦輪葉片不容易只在單一農民自有土地上旋轉[65]。

### 5.2.3 台灣農場太陽能工程考量及侷限

工業面看台灣在全球太陽能電池供應商中名列前茅[66]，且南台灣的緯度是在北迴歸線以南，台灣南部的太陽能電力產出相較英國東米德蘭高出約45%[67]，詳表4。相較風力，太陽能光電是台灣成熟的農場可再生能源項目。

表4 台灣南部和東密德蘭及世界其他都市年度光電發電量比較

位置	光電電力輸出 (PVOUT)/年	光電組件最佳角度
台南高鐵站	1428 kWh/kWp	21° / 180°
屏東林邊車站	1413 kWh/kWp	20° / 180°
東密德蘭 諾丁漢郡 紹斯威爾	951 kWh/kWp	38° / 180°
東密德蘭 林肯郡 斯凱格內斯車站	1007 kWh/kWp	38° / 180°
西班牙馬德里	1627 kWh/kWp	34° / 180°
澳洲雪梨	1465 kWh/kWp	32° / 0°

來源: Global Solar Atlas, the World Bank[67]

### 5.2.4 台灣農場生質能工程考量及侷限

透過引入生物燃料的生產和消費支持政策，農業部門可以使其農業多元化行為進入長期開放的新市場[68]。但除一般牛豬排泄物使用外，英國(案例C)生質能源使用上，採用需要短期輪換萌生林(short rotation coppice)栽植、砍伐和生質能模組維護，這些作物均需要農地種植，故英國生質能與太陽能光電比較，需要更大面積種植生產，如沼氣(Biogas)或生質柴油(Biodiesel)分別需要50或150倍的土地才有同太陽能光電相同能源產出[69]。

英國皇家鳥類保護協會(RSPB)研究，生物質能源的溫室氣體排放並不像人們預期的那樣，如果依英國政府假定生物質能源是自動無碳的，則可能會使全球暖化更惡化[70]。英國皇家工程院(RAE)也建議，只有農業廢棄物和森林工業廢棄物生產的第二代生物燃料具有較高的發展力才能使用為可再生能源，因其溫室氣體排放量較少，土地利用變化風險較小[71]。

台灣農田面積小，開發由農作物生產的生物質和生物燃料將更困難。若是以豬糞尿沼氣發電模組，將養豬場廢棄物再利用，同樣面臨鄰避效應，以及豬糞尿含水率高發電效能較低與大量剩餘沼渣處理問題，相對太陽能與風能，台灣農場採用生質能模組需要更多配套。

### 5.3 台灣3種較可能採行的太陽能光電模組

綜合以上考量，創新思維的太陽能模組在台灣農場應較為可行。結合糧食安全和能

源生產，「農業光電系統、稻田多元化和浮動太陽能光電模組」(Agrivoltaic system, Diversify surplus rice field and Floating Solar Photovoltaic project)等三種太陽能模組，應是我國農場可再生能源發展適當方案。

## 5.3.1 農業光電系統

最新商用太陽能光電面板效率甚至超過20%[72]。太陽能光電能效轉換效率比植物光合作用效率高出近5倍，Dupraz認為「農業光電」是一種解決方案，而不是競爭，將農業和農場可再生能源整合到一個綜合系統中，如果將農用電力系統有效地於耕地有限的國家結合起來，全球土地生產力可能會增加1/3到4/3[73]。儘管太陽能光電板是人造設備，農業與太陽能光電項目的結合也可視為一種「互利共生」。例如，隨著全球暖化，乾旱季節生長季節最低氣溫每增加1攝氏度，大部分水稻生長和產量的影響就會降低1/10[74][75]，農業光電系統在發電時，提供適當遮蔽，可保護作物忍受極端的高溫。

實驗證實，太陽能光電板遮蔽下可減少生菜和黃瓜的失水量，顯著節水14~29%，試驗中蔬菜生長用水在農業光電模組下效率更高[76]。另一方面，在不同的太陽輻射條件下，由於萵苣通過補償機制適應輻射條件，非全日照狀況生長量與萵苣在全日照條件下生長相當，甚至高於全日照生菜，雖然輻射轉換效率(RCE)變化不明顯，在光電模組下生菜輻射攔截效率(RIE)有所改善[77]。在美國，單估計就萵苣生產，如果傳統蔬菜種植轉換為在農業光電系統種植(如圖6)，估計經濟價值增長超過30%，創造超過40GW可再生能源[78]。

但對不同農業設備，需要對太陽輻射減少先評估。若太陽能板覆蓋屋頂面積為50%的小型溫室(面積為960平方米)，每年太陽光減少近2/3(64%)，而不僅是一半[79]。棋盤式太陽能板佈置比直線式佈置在陽光入射空間分佈更好[80]，這些研究也可說明，若屋頂光電覆蓋率達到100%的溫室，應不利於下面蔬菜、瓜類和水稻的生產，故農業光電系統需要進一步研究不同的設施佈置和植被物種。

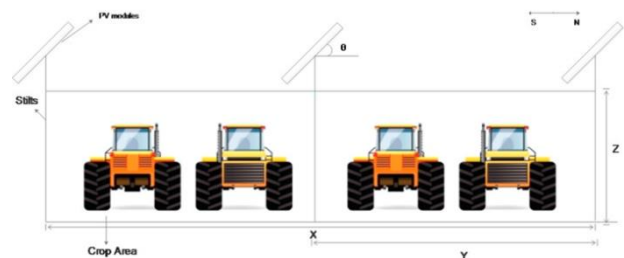


圖6 光電組件安裝在支架的農業光電系統示意圖

## 5.3.2 稻田多元化

在選定的稻田上進行有效土壤管理的太陽能農場可緩解環境惡化，農民可以從電力公司獲得收入，而不是單單依靠政府公糧政策補貼。據研究，在台灣南部的高雄湖內區，太陽能光電投資回收期只有12年[81]。在英國，只要佔地2公頃，即可供1000kW太陽能電站發電使用[82]，台灣太陽能電力輸出產量較高，也意味需要較少的耕地或同面積可產生更多電力。這種太陽能光電模組對農民經濟收益、環境保護和能源安全均有利。

## 5.3.3 浮式太陽能光電模組

除台灣農村的稻田外，還有4萬多公頃的魚塘、6.8萬漁民分散在台灣中南部[83]。由於氣候變化和頻繁的天氣事件造成水產養殖

產業脆弱易受害。台灣南部由1950年到2010年，颱風和季風系統引起的強降水事件更多[84]。另外，1970 - 2010年間，降水頻率呈減少趨勢，乾旱天氣增加[85]。致命的病毒和細菌在較暖和溫暖的環境中，或者在颱風事件之後存在並生長[86]。近年來，位處熱帶的台灣也發生了一些極端的寒害事件。在2008年和2016年的極端寒害，水產養殖受到嚴重影響，許多水產養殖戶由於意外的寒冷而遭受損失[87][88][89]。水產養殖戶將依靠更多的電動水車來保持魚類和其他水產品的生長。由於魚塘蒸發量較高，還需要更多的水。但是，如果可以在大型魚塘上開發農場可再生能源，就可以像農民一樣，幫助水產養殖者減少能源開支，實現水產養殖產業的多元化。

浮式太陽能光電模組若裝在魚塘上，浮式模組比地面或屋頂類型產生的功率多10%，因為通過面板和水體之間較冷的空間提高了發電效率[90]。在泰國，由於可靠性更高，成本更低，研究推薦裝備蝦池上的可再生能源模組[91]。浮動太陽能光電項目在水面上有效覆蓋，亦使蒸發明顯減少[92]。使用壽命超過25年的浮動太陽能光電項目的成本可能僅需5年即可回收，同時達到水溫降低，藻類生長減少，水質穩定的效用[93]。在極端寒冷的日子裡，它也可以作為水的防風層和蓋子。結合新型工業材料MEPCM，配備太陽能光電發電項目的魚塘水溫在冬季可以保持溫暖[94]。這些浮式太陽能光電項目的概念與台灣南部屏東「養水種電工程」示範模組類似，養水種電計畫可防止地層下陷，振興養殖區經濟，為遭受洪災的當地民眾提供新的就業機會和減輕莫拉克颱風侵襲後的土地鹽化[95][96]。

## 六、結論與建議

### 6.1 本研究重要結論

在英國，農民持續為家戶生產糧食和農場可再生能源，儘管糧食價格低廉，法規制度也阻礙了農場可再生能源的發展。本研究中的英國農民願意以「再生能源電能躉購制度」政策為後盾，以保持農業和環境為己任的農業可再生能源業務，實現農業多元化經營，努力降低農場必要的能源支出，提供合理的財務收入，作為自有農場長期規劃和永續耕種的後援。也由於農民致力於減少溫室氣體排放，並通過其項目為公眾創造更多的農場可再生能源，因此可以預計農業對氣候變遷影響將會減少。

英國經驗對我國未來農場可再生能源發展極有助益。因地理位置優勢與台灣相關行業先進技術，太陽能光電和風能可被視為我國新興能源[63]。如同英國農民面臨氣候變遷，農場可再生能源的農業多元化可以是台灣農民的選擇。農業光電系統和浮式太陽能光電系統可能是較好的糧食生產和發電的替代選擇。台灣農民可以保持財務安全，保護他們的固有農業或水產養殖業生產。一些稻田可以轉為太陽能電站，也為傳粉者，蜜源植物和其他野生動物創造更好的自然環境，未來幾十年，稻農仍然可以獲得合理的經濟效益，保持耕地的肥沃。糧食安全和能源安全也可在台灣共存。

### 6.2 研究限制和對未來研究的建議

本研究試圖訪問更多投入農場可再生能源模組的英國農民，但大多數農民拒絕提供他們的經驗，最主要難題是詢問關於農場可

再生能源收益(£,英鎊)。雖然是匿名研究，許多農民婉拒陌生外國留學生詢問獲利效益問題，但由實地訪談和觀察，確實可精準了解農場可再生能源發展實況。

除法規制度約束外，本研究的英國農民希望最大限度地提高農戶的可再生能源效益，但也同台灣農民一般面臨從發電模組輸出接到電網的電力出口限制。我國未來幾年可能需要德國採用可再生能源的「精細策劃的優先電網接入」(well-planned, priority grid access)與「預先的輸電規劃」(anticipatory transmission planning)以利後續發展[25][40][97]。

## 七、致謝

感謝行政院農業委員會水土保持局李鎮洋局長推薦，行政院農業委員會核定「農業菁英培訓計畫」(2017.9~2018.9)進行本研究。英國鄉村訪查期間，感謝多位匿名農民、諾丁漢特倫特大學動物鄉村環境學院Md Mofakkarul Islam教授與Julia Davies院長等協助完成。

## 參考文獻

- 1.MOEA (2017), Ministry of Economic Affairs Explains Energy Transition Pathway, Forward-Looking Green Energy Infrastructure and Stable Electricity Supply in This Summer [online]. Taipei Taiwan: MOEA.
- 2.李世光(2016)，我國新能源政策及展望，經濟部。
- 3.Frantál, B., and Prousek, A. (2016),It's not right, but we do it. Exploring why and how Czech farmers become renewable energy producers. *Biomass and Bioenergy*, 87, 26-34.
- 4.EU (2009), Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC [online]. Brussels: European Union.
- 5.Boie, I., Fernandes, C., Frías, P. and Klobasa, M. (2014), Efficient strategies for the integration of renewable energy into future energy infrastructures in Europe – An analysis based on transnational modeling and case studies for nine European regions. *Energy Policy*, 67, 170-185.
- 6.DEFRA (2014), UK food production to supply ratio (commonly referred to as the “self-sufficiency” ratio) [online]. London: DEFRA.
- 7.NFU (2017), Contributions of UK Agriculture [online]. Warwickshire, England: NFU.
- 8.Bailey, A., Davidova, S., Hotopp, U. (2017), AGRICULTURE IN THE UK [online]. London: National Institute of Economic and Social Research.
- 9.DEFRA (2013), Sustainable Land and Soils and Sustainable and Competitive Farming Strategy: Joint Evidence Plan [online]. London: DEFRA.
- 10.DEFRA (2016), Farm Business Income by type of farm in England, 2015/16 [online]. London: DEFRA.
- 11.Garnett, T. (2011), Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy*, 36, S23-S32.

- 12.DEFRA (2017), Defra Statistics: Agricultural Facts England Regional [online]. York, UK: Farming Statistics, Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- 13.FARMERS WEEKLY (2013), Survey shows great potential for on-farm renewables [online]. Surrey: FARMERS WEEKLY.
- 14.Twidell, J. & Weir, Anthony D. author (2014), Renewable energy resources [electronic resource] 3rd ed. Available via: NTU Library OneSearch [Accessed 14 July 2017].
- 15.Boyle, G., Everett, B., Alexander, G. (2012), Chapter 1, Renewable energy: power for a sustainable future. 3rd ed. ed. Oxford: Oxford: Oxford University Press.
- 16.Everett, B. (2012), Chapter 2, Renewable energy: power for a sustainable future. 3rd ed. ed. Oxford: Oxford: Oxford University Press.
- 17.Taylor, D. (2012), Chapter 7, Renewable energy: power for a sustainable future. 3rd ed. ed. Oxford: Oxford: Oxford University Press.
- 18.Morris, D. and Scurlock, J. (2012), Chapter 4, Renewable energy: power for a sustainable future. 3rd ed. ed. Oxford: Oxford: Oxford University Press.
- 19.IEA (2016), Key Renewables Trends Excerpt from: Renewables information [online]. Paris: IEA.
- 20.Pedroli, B. & Langeveld, H. (2011), IMPACTS OF RENEWABLE ENERGY ON EUROPEAN FARMERS CREATING BENEFITS FOR FARMERS AND SOCIETY [online]. Wageningen Netherlands: Alterra Wageningen UR.
- 21.Dinu, M. (2013), The main objectives of the EU rural development policy for 2014-2020. Bucharest: Faculty of Agro - Food and Environmental Economics - Bucharest University of Economic Studies.
- 22.Bayer, P., and Urpelainen, J. (2016). It Is All about Political Incentives: Democracy and the Renewable Feed-in Tariff. *The Journal of Politics*, 78 (2), 603-619.
- 23.DEFRA (2012), Diversification and Renewable Energy Production on Farms in England 2010 [online]. London: DEFRA.
- 24.DEFRA (2017). Total Income from Farming in the United Kingdom, First estimate for 2016 [online]. London: Defra.
- 25.Sutherland, L., and Holstead, K.L. (2014), Future- proofing the farm: On- farm wind turbine development in farm business decision- making. *Land use Policy*, 36, 102-112.
- 26.Angelopoulos, D., Doukas, H., Psarras, J. and Stamtis, G. (2017), Risk-based analysis and policy implications for renewable energy investments in Greece. *Energy Policy*, 105, 512-523.
- 27.Swanson, R.M. (2006), A Vision for Crystalline Silicon Photovoltaics. *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*. Prog. Photovolt: Res. Appl. 2006; 14:443-453
- 28.Reichelstein, S., and Yorston, M. (2013), The prospects for cost competitive solar PV power. *Energy Policy*, 55, 117-127.
- 29.WEC (2016), World Energy Resources Wind 2016. [online]. London: World Energy Council.
- 30.Boyle, G. (2012), Chapter 3, Renewable energy: power for a sustainable future. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press.

- 31.REN21 (2016), Renewables 2016 Global Status Report [online]. Paris: REN21 Secretariat.
- 32.Energy saving trust (2017), Feed-in Tariffs [online]. London: Energy saving trust.
- 33.Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S. and Allen, M.F. (2014), Environmental impacts of utility- scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766-779.
- 34.Sutherland, L., Peter, S. and Zagata, L. (2015), Conceptualising multi-regime interactions: The role of the agriculture sector in renewable energy transitions. *Research Policy*, 44 (8), 1543-1554.
- 35.Jones, C. & Eiser, J. (2010), Understanding 'local' opposition to wind development in the UK: How big is a backyard? *Energy Policy*, 38(6), pp.3106–3117.
- 36.Burningham, K., Barnett, J. & Walker, G. (2015), An Array of Deficits: Unpacking NIMBY Discourses in Wind Energy Developers' Conceptualizations of Their Local Opponents. *Society & Natural Resources*, 28(3), pp.246–260.
- 37.Mbzibain, A., Hocking, T.J., Tate, G. and Ali, S. (2013), Renewable enterprises on UK farms: Assessing levels of uptake, motivations and constraints to widespread adoption. *Biomass and Bioenergy*, 49, pp.28-37.
- 38.Sturge, D., While, A. and Howell, R. (2014), Engineering and energy yield: The missing dimension of wind turbine assessment. *Energy Policy*, 65, 245-250.
- 39.DCLG (2015), Guidance: Renewable and low carbon energy [online]. London: Department for Communities and Local Government.
- 40.Alagappan, L., Orans, R. and Woo, C.K. (2011), What drives renewable energy development? *Energy Policy*, 39 (9), 5099-5104.
- 41.Foxon, T.J., Gross, R., Chase, A., Howes, J., Arnall, A. and Anderson, D. (2005), UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures. *Energy Policy*, 33 (16), 2123-2137.
- 42.Schaffer, A., and Düvelmeyer, C. (2016), Regional drivers of on- farm energy production in Bavaria. *Energy Policy*, 95, 361-369.
- 43.Yin, R.K. (2012), Applications of case study research. 3rd ed. ed. London: London: SAGE.
- 44.Henn, M. (2009), A critical introduction to social research. 2nd ed. ed. London: London: SAGE.
- 45.Kuehne, G. (2016), Eight Issues to Think About Before Interviewing Farmers. *Forum: Qualitative Social Research*, 17 (2).
- 46.DEFRA (2017), Farming Statistics – provisional arable crop areas at 1 June 2017 England [online]. London: DEFRA.
- 47.Beaumont, J. (2009), Portrait of the East Midlands [online]. Cardiff, UK: Office for National Statistics.
- 48.Silver, C. (2014), Using software in qualitative research: a step-by-step guide. Second edition. ed.





- 49.Mcdonald & Pearce (2010), Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. *Energy Policy*, 38(11), pp.7041–7047.
- 50.IRENA (2016), END-OF-LIFE MANAGEMENT Solar Photovoltaic Panels [online]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- 51.EU (2012), Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) [online]. Brussels: EU.
- 52.Reid, G., and Wynn, G. (2015), The Future of Solar Power in the United Kingdom. *Energies*, 8 (8), 7818-7832.
- 53.Kumar, Y., Ringenberg, J., Depuru, S., Devabhaktuni, V.K., Lee, J., Nikolaidis, E., Andersen, B. and Afjeh, A. (2016), Wind energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 209-224.
- 54.CLIMATESCOPE (2016). KEY FINDINGS [online]. Bloomberg New Energy Finance.
- 55.Firbank, L.G., Elliott, J., Drake, B., Cao, Y. and Gooday, R. (2013), Evidence of sustainable intensification among British farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 58-65.
- 56.van Vliet, J., de Groot, H.L.F., Rietveld, P. and Verburg, P.H. (2015), Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 133, 24-36.
- 57.Sutherland, L., Toma, L., Barnes, A.P., Matthews, K.B. and Hopkins, J. (2016), Agri- environmental diversification: Linking environmental, forestry and renewable energy engagement on Scottish farms. *Journal of Rural Studies*, 47, 10-20.
- 58.Boyle, G. (2012), Appendix B, Renewable energy: power for a sustainable future. 3rd ed. ed. Oxford: Oxford: Oxford University Press.
- 59.Mason, R. (2015), Six in 10 UK onshore windfarms rejected, says report. *The Guardian*, 21 January 2015.
- 60.Sperling, K., Hvelplund, F. and Mathiesen, B.V. (2010), Evaluation of wind power planning in Denmark – Towards an integrated perspective. *Energy*, 35 (12), 5443-5454.
- 61.Holstead, K.L., Galán-Díaz, C. and Sutherland, L. (2017), Discourses of on-farm wind energy generation in the UK farming press. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 19(4), pp.391–407.
- 62.林珈芝、盧又銘(2017)，申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法部分條文修正簡介，農政與農情，第 302 期。
- 63.Chen, H.H., and Lee, A.H.I. (2014), Comprehensive overview of renewable energy development in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 215-228.
- 64.Chiou, C., Lee, J. and Fung, T. (2011), Negotiated Compensation for NIMBY Facilities: Siting of Incinerators in Taiwan. *Asian Geographer*, 28 (2), 105-121.
- 65.Ani, S.O., Polinder, H. and Ferreira, J.A. (2013), Comparison of Energy Yield of Small Wind Turbines in Low Wind Speed Areas. *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, 4 (1), 42-49.
- 66.Su, Y. (2013), Competing in the Global Solar Photovoltaic Industry: The Case of

- Taiwan. *International Journal of Photoenergy*, 2013.
67. World Bank, 2017. *Global Solar Atlas*. [online]. Available via: <http://globalsolaratlas.info>. [Accessed 31 August 2017].
68. IEA (2011), *Renewable Energy: Policy Considerations for Deploying Renewables* [online]. Paris: IEA.
69. Poncet, C., Muller, M.M., Brun, R., & Fatnassi, H. (2012), Photovoltaic greenhouses, non-sense or a real opportunity for the greenhouse systems? *Acta Hort. (ISHS)*, 927 (2012), pp. 75-79
70. RSPB (2012), *Dirtier than coal? Why Government plans to subsidise burning trees are bad news for the planet* [online]. Bedfordshire, England: RSPB.
71. RAE (2017), *Sustainability of liquid biofuels* [online]. London: Royal Academy of Engineering.
72. Energysage (2017), *What are the most efficient solar panels on the market?* [online]. USA: Energysage.
73. Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A. and Ferard, Y. (2011), Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36 (10), 2725-2732.
74. Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S. and Cassman, K.G. (2004), Rice Yields Decline with Higher Night Temperature from Global Warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (27), 9971-9975.
75. Krishnan, P., Ramakrishnan, B., Reddy, K.R. and Reddy, V.R. (2011), High- Temperature Effects on Rice Growth, Yield, and Grain Quality. *Advances in Agronomy*, 111, 87-206.
76. Marrou, Dufour & Wery (2013), How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system? *European Journal of Agronomy*, 50, pp.38-51.
77. Marrou, H., Wery, J., Dufour, L. and Dupraz, C. (2013), Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, 44, pp.54-66.
78. Dinesh, H. & Pearce, J.M. (2016), The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, pp.299-308.
79. Cossu, M., Murgia, L., Ledda, L., Deligios, P.A., Sirigu, A., Chessa, F. and Pazzona, A. (2014), Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Applied Energy*, 133, pp.89-100.
80. Fatnassi, H., Poncet, C., Bazzano, M.M., Brun, R. and Bertin, N. (2015), A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate. *Solar Energy*, 120, p.575.
81. Hsueh, S. (2015), Assessing the effectiveness of community-promoted environmental protection policy by using a Delphi-fuzzy method: A case study on solar power and plain afforestation in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1286-1295.
82. Scurlock, J. (2015), *Solar photovoltaic electricity in agriculture – on your roofs and in your fields* [online]. Warwickshire: NFU.

- 83.漁業署(2017), 漁業統計年報 2015。
- 84.Chu, P., Chen, D. & Lin, P. (2014), Trends in precipitation extremes during the typhoon season in Taiwan over the last 60 years. *ATMOSPHERIC SCIENCE LETTERS*, 15, pp.37-43.
- 85.Tu, J.-Y. & Chou, C. (2013), Changes in precipitation frequency and intensity in the vicinity of Taiwan: typhoon versus non-typhoon events. *Environmental Research Letters*, 8(1), p.7.
- 86.Ho, C., Chen, J., Nobuyuki, Y., Lur, H. and Lu, H., 2016. Mitigating uncertainty and enhancing resilience to climate change in the fisheries sector in Taiwan: Policy implications for food security. *Ocean and Coastal Management*, 130, 355-372.
- 87.安翔、龔楚嫻、吳宜昭、于宜強(2016),2016年1月臺灣地區寒害事件彙整與分析, 國家災害防救科技中心。
- 88.陳永明、于宜強、黃柏誠(2008), 澎湖海域 2008 年寒害分析報告, 國家災害防救科技中心。
- 89.Chang, Y., Lee, M., Lee, K. and Shao, K. (2013), Adaptation of fisheries and mariculture management to extreme oceanic environmental changes and climate variability in Taiwan. *Marine Policy*, 38, 476-482.
- 90.Choi, Y.-. (2014), A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact. *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 8 (1), 75-84.
- 91.Nookuea, W., Campana, P.E. and Yan, J. (2016), Evaluation of Solar PV and Wind Alternatives for Self Renewable Energy Supply: Case Study of Shrimp Cultivation. *Energy Procedia*, 88, 462-469.
- 92.Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. and Gekas, V. (2005), Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33 (3), 289-296.
- 93.Sahu, Yadav & Sudhakar (2016), Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, pp.815-824.
- 94.Ho, C.J., Chou, W. and Lai, C. (2014), Application of a water- saturated MEPCM-PV for reducing winter chilling damage on aqua farms. *Solar Energy*, 108, 135-145.
- 95.林淑惠(2017), 因應氣候變遷的在地協力調適行動—以屏東養水種電及光采濕地的推動經驗為例(2010 - 2016), 國立成功大學博士論文。
- 96.Su, S., 2014. The Political Ecology of Land Subsidence: A Case Study of the Solar Energy-Farming Scheme, Pingtung County, Taiwan. In: Meadows, M. & Lin, J., ed., Inaugural Meeting of the Commission on Earth Surface Processes in a Dynamic Environment, Taipei, TAIWAN. September 2014. pp. 103-124.
- 97.Anaya, K.L., and Pollitt, M.G. (2015), Integrating distributed generation: Regulation and trends in three leading countries. *Energy Policy*, 85, 475-486.
- 98.Seel, J. (2014), An Analysis of Residential PV System Price Differences Between the United States and Germany [online].

Lawrence Berkeley National Laboratory:  
Lawrence Berkeley National Laboratory.

- 99.Rudolf, V., and Papastergiou, K.D. (2013),  
Financial analysis of utility scale  
photovoltaic plants with battery energy  
storage. Energy Policy, 63, 139-146.



## 瓦魯斯溪集水區調查分析

### Investigation And Analysis in Varus Creek catchment area

蕭國亮<sup>1</sup>、林彥志<sup>2</sup>、童遠欽<sup>3</sup>、洪政義<sup>4</sup>

Kuo-Liang Hsiao<sup>1</sup> Yen-Chih Lin<sup>2</sup> Yuan-Chin Tung<sup>3</sup> Cheng-Yi Hung<sup>4</sup>

1.山河工程顧問有限公司 負責人

2.鴻昇工程科技有限公司 負責人

3.水土保持局臺南分局 副工程司

4.水土保持局台南分局 秘書

1.Representative,Shan He Technical Consultant CO.,Ltd.

2.Representative,Hung Shen Technical Consultant CO.,Ltd.

3.Deputy Engineer, Tainan Branch Soil & Water Conservation Bureau

4.Secretary, Tainan Branch Soil & Water Conservation Bureau

### 摘 要

瓦魯斯溪集水區位於屏東縣來義鄉及泰武鄉境內，集水區面積7,184.1公頃，集水區內分佈屏縣DF067及屏縣DF068兩條土石流潛勢溪流，保全對象包含大後聚落、佳興聚落及舊泰武聚落，有鑑於過去十數年間風災及豪雨時常傳出土砂或洪氾災情，特進行研究，藉由集水區現地調查及治理方案研擬以分年分期的集水區治理提升當地居民的生活和財產安全。

**關鍵字：**潛勢溪流、現地調查、集水區治理

### Abstract

The Varus Creek catchment area is located in Laiyi Township and Taiwu Township of Pingtung County. The catchment area is 7,184.1 hectares. The catchment area is divided into two landslide streams: DF067 and Pingxian DF068. The preservation object includes Dahou settlement, the Jiaxing settlement and the previous Taiwu settlement, in view of the windstorms and heavy rains in the past ten years, the Tainan Branch of the Bureau of Soil and Water Conservation of the Executive Yuan Agricultural Committee (hereinafter referred to as the Tainan Branch) has specially established this plan. The watershed management plan of the sub-annual phase will improve the living and property safety of local residents. The focus and content of the project can be divided into two major items, one is the in-situ investigation of the catchment area, and the other is the governance plan.

**Key Word :** landslide streams, in-situ investigation, watershed management plan

後溪為界，以北屬泰武鄉，以南屬來義鄉。區內主要聯絡道路為大後聚落聯絡道路、泰義聯絡道路及鄉道屏106，由於溪流多，村落間交通的聯繫以橋梁為主，研究區內主要聯絡橋梁包含泰義大橋、大後橋及瓦魯斯溪橋等，研究區行政區位及交通分佈圖如圖2至圖3所示。

## 一、前言

瓦魯斯溪集水區保全對象包含大後聚落、佳興聚落及舊泰武聚落，舊泰武聚落位於屏東縣-泰武鄉-D016潛在大規模崩塌地區範圍內。有鑑於民國95年碧利斯、96年聖帕、98年莫拉克等颱風與101年0610豪雨均有土砂或洪氾災情傳出；民國98年莫拉克颱風期間更造成舊泰武聚落發生坡地滑動，泰武國小操場邊坡崩塌，校舍、鄰近建物及道路均有下陷與裂縫災情，對當地居民生命財產安全產生威脅。

本研究進行瓦魯斯溪集水區大後及屏東縣泰武鄉-D016等2處重點區域研究調查，針對集水區內(含來義鄉及泰武鄉)地文、水文、人文、生態環境、土地權屬及土地利用概況、以往災害情形、歷年整治工程等重點區基本資料蒐集、彙整及分析，據以分析集水區問題及研擬治理對策，並研提分年分期治理計畫，提供後續短、中及長程集水區保育治理實施之依據。

## 二、研究方法及研究區域

### 2.1 研究方法

本研究針對瓦魯斯溪集水區進行致災潛勢區域調查，透過集水區問題分析提出保育治理方針、效益評估及治理規劃配置等。研究方法及流程詳圖1。

### 2.2 研究區域

本次研究範圍位於瓦魯斯溪集水區，集水區範圍位於屏東縣泰武鄉與來義鄉境內，地處屏東縣中央偏北，倚中央山脈與臺東縣相接。瓦魯斯溪集水區內以瓦魯斯溪支流大

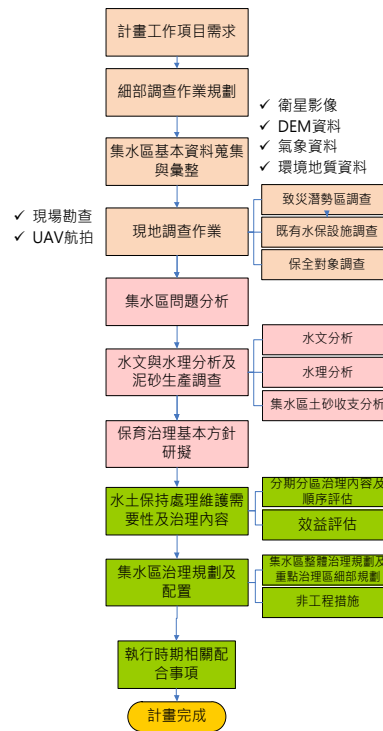


圖1 研究方法流程圖

#### 2.2.1 水文

研究區鄰近雨量站整理如表1。選用雨量站時，採用鄰近本研究區之雨量站，且須具備觀測資料可靠、紀錄時間長(以紀錄年限大於25年為原則)、資料完整等特性，因此本集水區採用泰武(1)雨量站作為後續水文分析之依據。

泰武(1)雨量站年平均雨量4347.4毫米，主要降雨集中在五至十月，其中八月平均月雨量達1204.8毫米，年降雨日數158日。

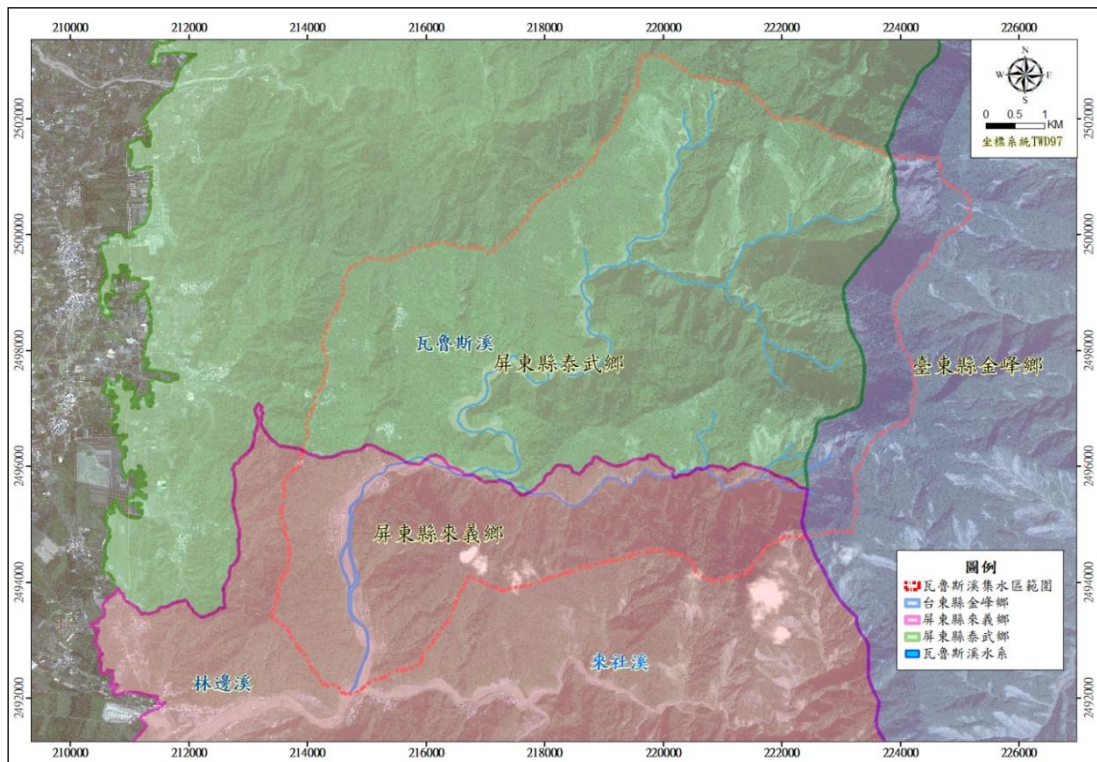


圖2 研究區位置圖

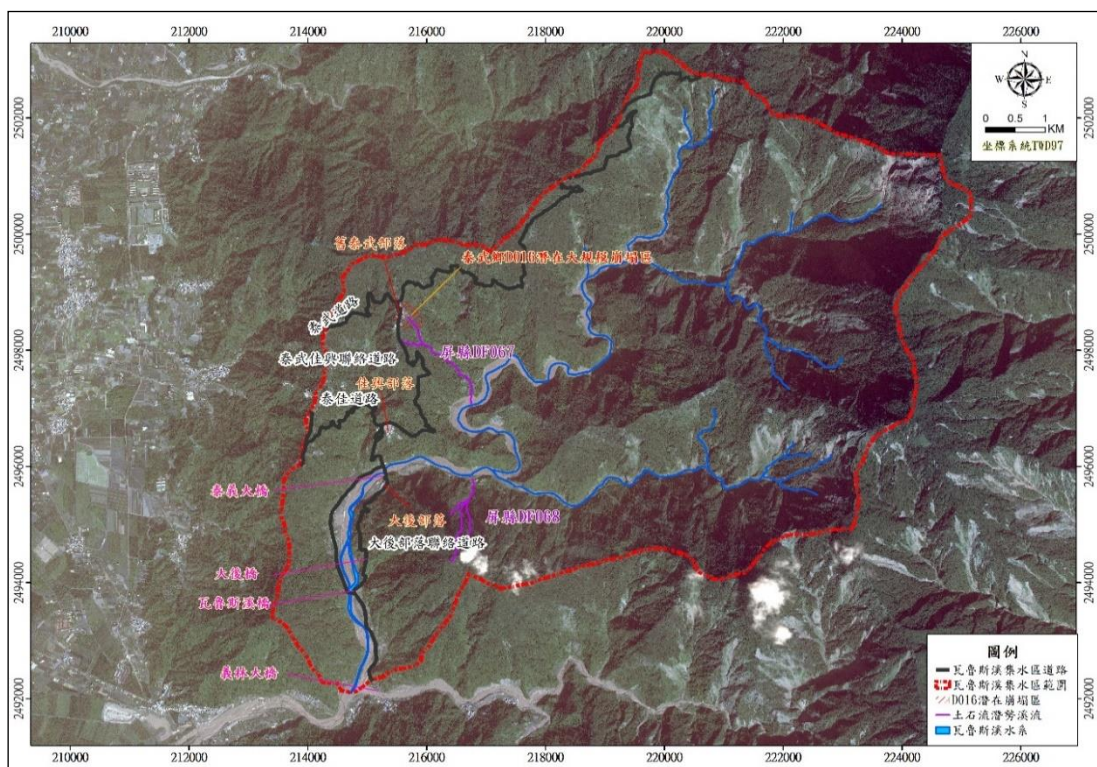


圖3 研究區交通分佈圖

表1 研究區鄰近雨量站基本資料表

站名	站號	所屬機關	位址	高程(m)	記錄年份	統計年數
舊泰武	C0R600	中央氣象局	泰武鄉泰武村 良武巷 101 號	766	2014 迄今	4
西大武山	C1R610	中央氣象局	泰武鄉北大 武山步道 2.6k	1,828	2014 迄今	4
來義	C0R240	中央氣象局	屏東縣萬巒鄉 新隆路 64 號	87	2013 迄今	5
新來義	1760P013	水利署	屏東縣來義鄉 來義村 72 號	250	1972 迄今	45
泰武(1)	1760P001	水利署	屏東縣泰武鄉 泰武村	950	1955 迄今	62

## 2.2.2地形

瓦魯斯溪集水區為林邊河流域之子集水區，面積約7,184.1公頃，其地勢東高西南低，最低點高程為121.2公尺，最高點高程為2,937.3公尺，坡向以西南、西向為主，坡度主要為六級坡。本區之高程、坡向、坡度分佈如圖4至圖6所示。

## 三、集水區調查與分析

### 3.1集水區調查

#### 3.1.1溪流調查

溪流(包含野溪、坑溝)調查之工作依據歷年災害情形、整治工程及河道淤積土砂等情形進行調查，調查流程詳圖7。

根據現場勘查及訪談當地居民後，彙整出研究區內溪流普遍具有上下游坡度落差甚大造成下游土砂堆積之情形，其中主流河道上游集水區崩塌面積廣大更使得大量不安定土砂容易沖刷下移河道。研究區內之坑溝及野溪則有護岸及固床工設置未考量坡度之控

制導致基礎淘刷之現象，且坑溝多以箱涵型式穿越道路，在未來若因土砂淤積造成通水斷面不足時，可能造成道路損壞。

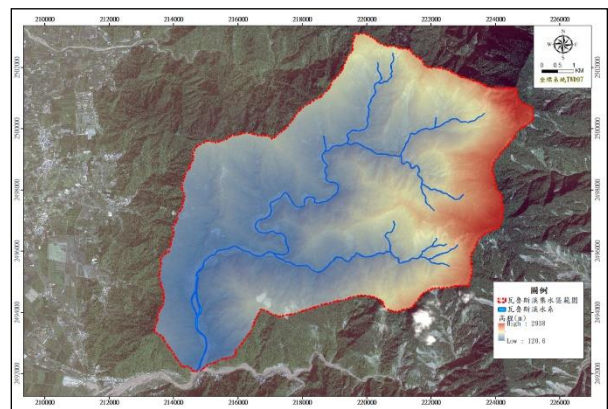


圖4 研究區高程分佈圖

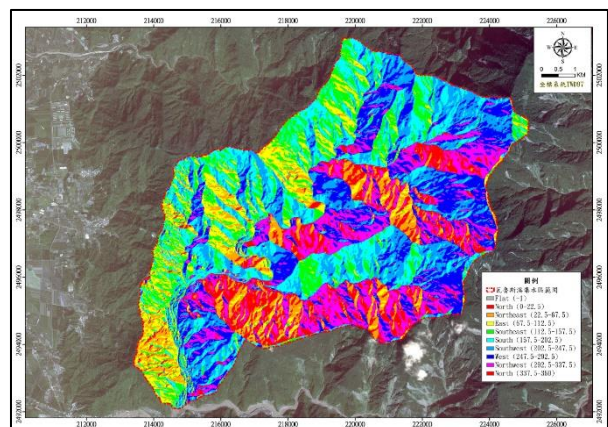


圖5 研究區坡向分佈圖



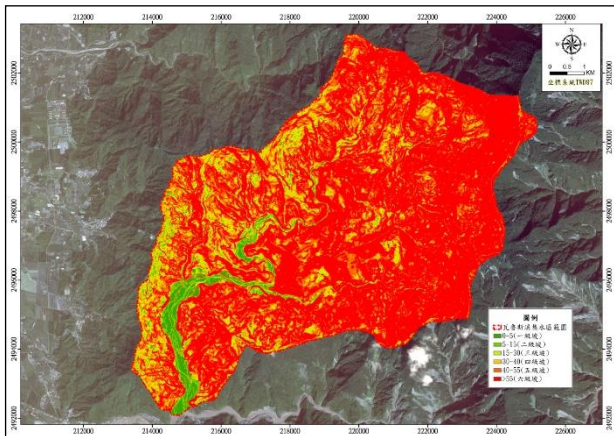


圖6 研究區坡度分佈圖

### 3.1.2 土石流潛勢溪流調查

本研究針對土石流潛勢溪流進行現地調查，包括溪流位置確定、現有防砂工程狀況、溪床堆積物狀況、土石流扇狀地狀況、溢流點調查、災害歷史訪查、溪流沿線崩塌狀況及保全對象調查等，調查流程詳圖8。

研究區內共有屏縣DF067(中潛勢)、屏縣DF068(低潛勢)等兩條土石流潛勢溪流，DF067上游之保全對象為舊泰武聚落，該聚落於莫拉克颱風之後，因評估為潛在滑動區域，已經全部搬遷至新泰武聚落，土石流發生段現況植生覆蓋良好，在中游的河段有一塊零星崩塌地，為河道沖刷河岸坡腳所造成，但在河道匯入主流之匯流口，並無明顯土砂下移情況，可見其尚屬安定，但仍需持續追蹤中上游崩塌地植生復育情形，以了解是否仍有不安定土砂存在，確實掌握土砂來源之狀況。

DF068主要保全對象為大後聚落聯絡道以及南大武山莊，依目前河道潛壩以及下游護岸已佈滿青苔，可見已多年無嚴重土砂流出事件，但河岸仍有部分因坡度過於陡峭以及地質較為破碎之情況，在坡腳位置受逕流

流沖刷易產生零星崩塌，目前土砂下移至既有之沉砂空間淤積，沉砂空間已充分發揮其功能，然已淤滿之狀態未來將無法提供安全淤積空間，因此沉砂空間清淤應納入優先處理之工作。

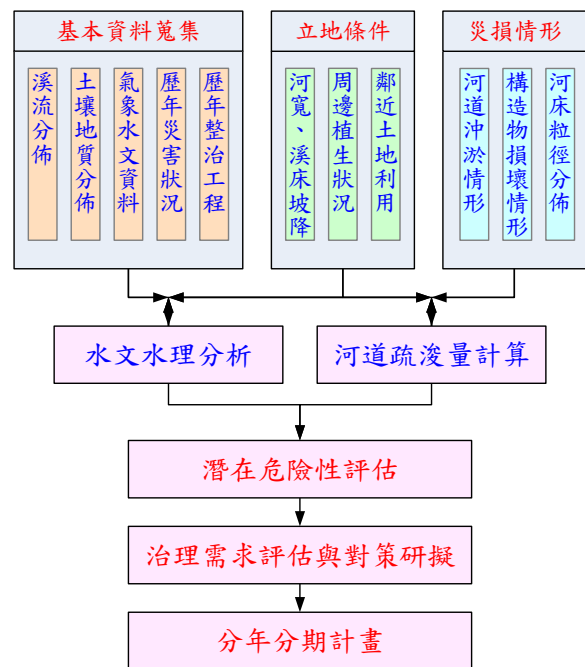


圖7 溪流調查流程圖

### 3.1.3 崩塌地調查

崩塌地調查目的係為瞭解崩塌地之範圍、環境特性、發生條件及可能致災對象等相關資料，從而提供最有效而經濟之防治規劃依據，崩塌地調查流程詳圖9。

在崩塌地判釋調查中，主要針對莫拉克颱風後至今崩塌地復育情形進行瞭解，莫拉克風災後瓦魯斯溪集水區(面積為7,184.1公頃)共計有193處崩塌地，崩塌面積為818.67公頃，崩塌率為11.40%，而2018年崩塌地判釋成果崩塌地共計有29處，崩塌面積為779.68公頃，崩塌率為10.85%，可得知崩塌地裸露面積有逐漸縮小的情況，尤其以中下游坡地復育較為明顯。崩塌地判釋詳圖10。

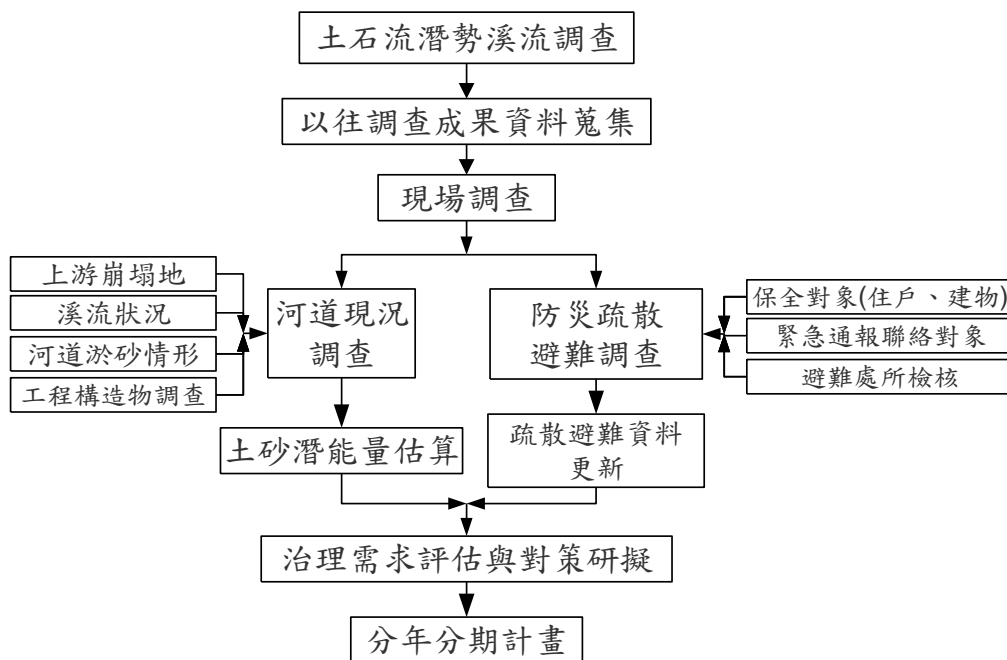


圖8 土石流潛勢溪流調查流程圖

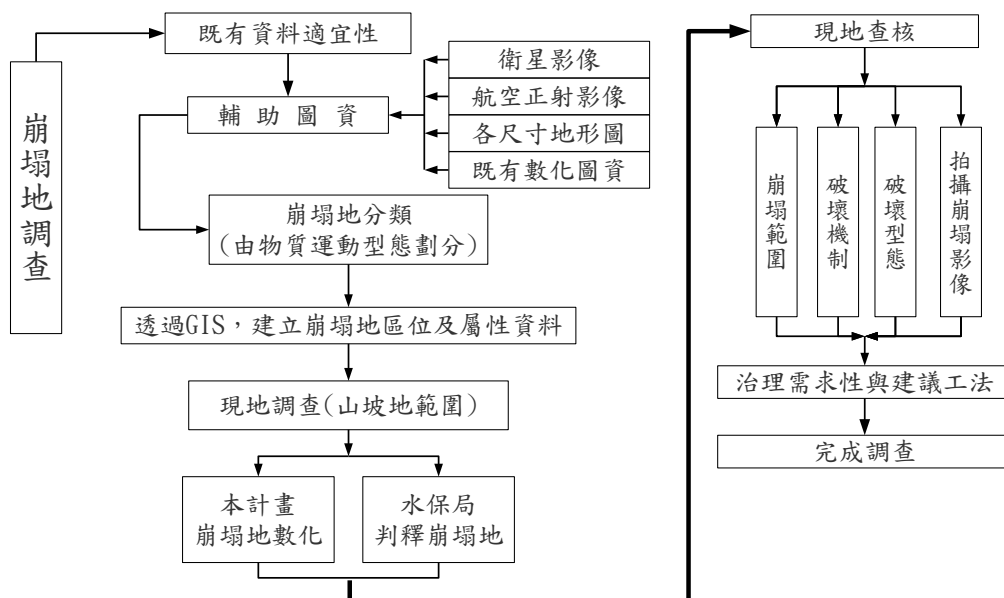
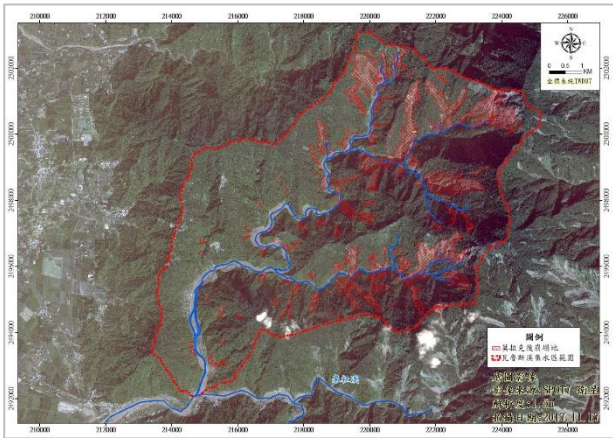


圖9 崩塌地調查流程圖

## 崩塌地判釋(莫拉克風災後2010年)



## 崩塌地判釋(2018年)

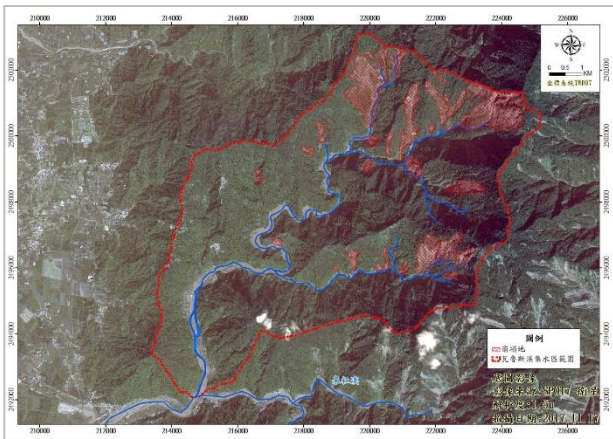


圖10 莫拉克風災後迄今崩塌地分佈圖

現仍存在之29處崩塌地分析其崩塌原因為研究區主要地層為畢祿山層以及廬山層，畢祿山層夾有較多的變質砂岩層之結構，廬山層則以硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色的硬砂岩互層組成之結構為主，研究區上游較為陡峭區位，因層理及劈理現象發達，使出露岩層表層風化嚴重，變質岩特性致使岩層表面破碎，易發生大大小小的土砂災害。

### 3.1.4道路調查

本研究洽屏東縣政府、水土保持局、來義鄉公所及泰武鄉公所等進行道路資料蒐集，

並針對區內道路等進行路面鋪面狀況、路基穩定性、上下邊坡穩定性及排水系統等調查，調查流程如圖11。

研究區內道路主要為聚落間連絡道，以大後道路及佳興道路為主要道路，另有三座大型橫跨瓦魯斯溪主流之橋梁，由下游往上游分別是來義大橋、義林大橋及泰義大橋，連通兩岸間聯絡道路，部分道路因歷經多次颱風豪雨侵襲，於道路上下邊坡有崩塌災害，並有不安定土砂堆積於坡面，未來遭遇颱風豪雨可能會造成土砂下移使道路中斷，另有部分道路既有擋土牆有龜裂現象產生，疑似因地層滑動產生之錯位，造成擋土牆及路面皆有大小不一裂縫發生；而在現勘過程與民眾訪談時亦陳情因部分道路無側溝，每當豪大雨時雨水在路面形成漫地流，造成路面破損及積水等情形，影響當地居民行車安全。

經現場調查，研究區內道路損壞情形主要包括上邊坡土石崩落、裸露、蝕溝沖蝕、道路缺乏縱橫向排水致鋪面損壞，甚至於颱風豪雨所造成逕流水順沿路面流動、下邊坡路基流失和崩塌，不僅造成路面寬度變窄，部分裸露邊坡仍有再生崩塌之可能，恐造成交通中斷。

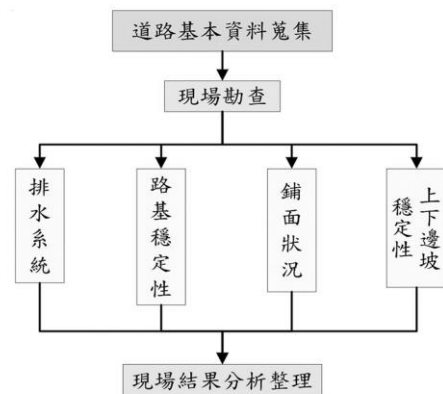


圖11 道路調查流程圖



### 3.1.5 保全對象調查

研究區內對象主要為大後聚落、佳興聚落及舊泰武聚落，經由實際踏勘各聚落社區及拜訪當地居民瞭解問題後，彙整各聚落問題主要為社區與鄰接區域排水、野溪整治及道路排水等問題。

大後聚落現況鄰近主要陡坡區之坑溝皆已完成整治，聚落內之縱橫向排水系統亦已建置完成，有效將逕流水安全排放，惟有極少數坑溝仍須進行整治，將坑溝安全銜接至瓦魯斯溪主流排放。

佳興聚落位於坡度甚為陡峭之邊坡，聚落內縱橫向排水雖有設置，但並未設置完整排水系統，且以往興建之擋土牆多數皆過於老舊(超過30年以上)，各階段大大小小之擋土牆損壞以及錯動，且現況聚落房舍與擋土牆配置狀態而言，各項改善工程措施之施工性亦面臨挑戰，以致佳興聚落仍有其安全之疑慮。此外，在聚落連續三天大雨之事件發生時，聚落四周仍有兩處邊坡有湧泉之現象發生，可見佳興聚落地下水仍相當豐沛，是否仍有可能造成土體滑動之可能，建議未來以專案調查方式進行評估，以確保佳興聚落之安全疑慮。

## 3.2 集水區分析

### 3.2.1 水文水理分析

#### 1. 頻率分析

本研究選定採用泰武(1)雨量站，並由經濟部水利署水文資訊網購買四十年以上之日降雨量資料，求出研究區歷年最大一日~三日暴雨量如表2，但由於部分年份雨量資料有所遺漏，故將有遺漏或沒有紀錄之年度資料刪

除，不予使用，將篩選後可作為分析之用之雨量資料再以常態型、皮爾遜III型、對數皮爾遜III型及極端值I型等4種機率分佈進行降雨頻率分析，並利用卡方檢定及K-S檢定法，作上述機率分佈之適合度檢定，再以海生、威伯點繪法，估算平方差和(SSE)及標準差(SE)，藉以選取最佳分佈，並以最佳分佈分析所得之一日暴雨分析成果進行後續洪峰流量之分析演算，如表3至表4。

經過海生、威伯點繪法，估算平方差和(SSE)及標準差(SE)，後續採用皮爾遜III型作為後續分析演算之依據。

表2 研究區歷年最大一日~三日暴雨量

年度	最大一日 暴雨	最大二日 暴雨	最大三日 暴雨
45	453.50	644.00	780.00
47	212.00	394.00	572.00
49	734.00	1,284.00	1,346.00
50	520.80	636.80	643.30
51	788.00	979.50	1,079.90
59	247.00	407.50	503.50
60	656.00	730.50	787.50
62	555.00	901.00	928.00
68	810.50	1,023.50	1,032.50
70	772.00	1,110.00	1,468.50
72	339.30	414.90	614.40
73	310.80	333.70	357.80
74	392.40	536.00	598.20
76	966.50	1,074.50	1,200.60
77	489.40	811.20	1,012.70
80	436.00	658.00	918.00
81	659.00	1,160.00	1,170.00
83	420.00	678.00	734.00
84	474.00	544.00	551.00
85	816.00	1,077.00	1,078.00
86	262.00	394.00	541.00



表2 研究區歷年最大一日~三日暴雨量(續)

年度	最大一日 暴雨	最大二日 暴雨	最大三日 暴雨
87	522.00	771.00	792.00
88	482.00	540.00	837.00
89	515.00	600.00	611.00
90	529.00	1,025.00	1,255.00
91	164.00	281.00	386.00
92	496.00	683.00	794.00
93	707.00	1,262.00	1,553.00
94	1,096.00	1,904.00	2,386.00
95	785.00	1,029.00	1,130.00
96	969.00	1,048.00	1,182.00
97	613.00	925.00	929.00
98	1,747.00	2,892.00	3,409.00
99	1,200.00	1,254.00	1,262.00
100	855.00	1,222.00	1,484.00
101	641.00	1,061.00	1,671.00
102	935.00	1,123.00	1,322.00
103	547.00	627.00	633.00
104	726.00	817.00	818.00
105	731.00	969.00	984.00
106	367.00	620.00	885.00

資料來源：本研究分析整理

註：雨量單位mm

## 2. 洪峰流量分析

本研究區內共有6個集水分區，包含德文社東、德文社、南大武山、大後溪、瓦魯斯溪中游以及瓦魯斯溪中下游集水分區，各集水分區之各重現期距洪峰流量由雨量推算，本研究採合理化公式法及三角型單位歷線法演算並比較，供日後工程設計參考。

### (1) 合理化公式

在缺乏實測流量記錄之小集水區常以此法推估洪峰流量，惟該公式僅限於集流面積小於1,000公頃以下之小集水

區使用，其公式：

$$Q_p = \frac{1}{360} * C * I * A$$

式中， $Q_p$ =洪峰流量(立方公尺/秒)； $C$ =逕流係數； $A$ =集水區面積(公頃)。I=降雨延時等於集流時間 $t_c$ 時之平均降雨強度(公釐/小時)。

### (2) 三角形單位歷線

三角形單位歷線是為應用方便，假設單位時間之超滲雨量所形成的流量歷線為三角形，其形狀及各參數因子可依經驗公式推定；美國水土保持局(U.S. Soil Conservation Service)對此提出下列經驗公式：

$$Q_p = 0.208 * A * Re / T_p$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6 * T_c$$

$$T_r = 1.67 * T_p$$

$$T_b = T_p + T_r$$

$$T_c = (0.87 * \frac{L^3}{H})^{0.385}$$

式中： $Q_p$ =洪峰流量(立方公尺/秒)； $A$ =集水區面積(平方公里)； $Re$ =超滲雨量(公釐)； $T_p$ =開始漲水至洪峰發生之時間(小時)； $D$ =單位降雨延時； $T_c$ =集流時間(小時)； $T_r$ =洪峰流量發生至歷時終端之時間(小時)； $T_b$ =基期時間(小時)； $L$ =排水路最遠點至控制點之距離(公里)； $H$ =排水路最遠點與控制點之高程差(公尺)。

配合三角形單位歷線法估算需要，本研究參考經濟部水利署「臺灣地區雨量測

站降雨強度-延時 Horner 公式分析 (2003)」，以同流域鄰近研究區之泰武(1) 雨量站Horner雨型公式，單位時間刻度 Dm則依據下列原則選擇。

$T_c > 6 \text{ hr} \rightarrow D_m = 1.0 \text{ hr}$   
 $3 \text{ hr} < T_c \leq 6 \text{ hr} \rightarrow D_m = 0.8 \text{ hr}$   
 $1 \text{ hr} < T_c \leq 3 \text{ hr} \rightarrow D_m = 0.4 \text{ hr}$   
 $T_c \leq 1 \text{ hr} \rightarrow D_m = 0.15 \text{ hr}$

表3 研究區一日暴雨頻率分析

分佈機率	各重現期距(年)								
	1.11	2	5	10	20	25	50	100	200
常態	260.1	632.7	884.4	1,016.1	1,124.8	1,156.4	1,247.1	1,328.6	1,403.2
皮爾森 III 型	323.1	568.4	843.5	1,029.9	1,208.1	1,264.5	1,437.1	1,607.5	1,776.3
對數皮爾森 III 型	308.7	586.9	856.9	1,027.3	1,183.2	1,231.1	1,374.9	1,512	1,643.7
極端值 I 型	271.2	586.2	882.7	1,078.9	1,267.2	1,326.9	1,510.9	1,693.5	1,875.4
備 註	1.平均值 632.712，偏態係數 1.360，標準差 299.084。								
	2.對數平均值 6.344，對數偏態係數-0.392，對數標準差 0.480。								
	3.單位：mm。								

資料來源：本研究分析整理

表4 頻率分析檢定表

分佈機率	適合度檢定				Weibull Method		Hazen Method	
	卡方檢定		K-S 檢定		SE	SSE(10 <sup>6</sup> )	SE	SSE(10 <sup>6</sup> )
常態	2.8675	適合	0.10254	適合	93.83	0.3433	86.25	0.2901
皮爾森 III 型	1.4256	適合	0.08524	適合	67.91	0.1753	51.25	0.0998
對數皮爾森 III 型	1.3602	適合	0.05953	適合	71.76	0.1957	54.79	0.1141
極端值 I 型	2.8927	適合	0.04573	適合	61.46	0.1473	58.30	0.1325
備 註	1.於 400mm 至 880mm 分為 6 組分析，在 95%信賴區間，卡方值為 5.99 與 7.81。							
	2.在 95%信賴區間 K-S 臨界值 D <sub>0</sub> 為 0.2080。							

資料來源：本研究分析整理

### (3) 洪峰流量

依據蒐集之雨量資料與前述分析方法，考量研究區多為林地與坡地、集流時間短且集水區最下游控制點集水面積超過1,000公頃，故建議採三角形單位歷線+Horner雨型之降雨強度公式推估之流量成果做為後續水理計算之依據；此外，依「水土保持技術規範(2019)」第

六十五條規定，野溪治理採用50年重現期距保護標準，做為本研究設計保護之標準，各集水分區控制點洪峰流量及位置請詳表5及圖12。

### 3. 河道水理分析

本研究針對研究範圍進行計畫流量之通洪能力檢討，瞭解河道現況是否滿足計畫安全需求，並指出通洪能力不足或有防洪安全



疑慮的區段，以做為治理規劃之參據。本研究擬根據野溪、土石流潛勢溪流之現地調查結果及不同頻率年之設計洪水量，採用曼寧公式進行水理分析，以進一步檢討研究區域內河道之通洪能力。曼寧計算公式如下：

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A$$

n為曼寧係數；R為水力半徑(m)；S為河道坡度(h/L)；A為通水面積(m<sup>2</sup>)。

依據水文分析結果，可得到洪峰流量，並根據現地所調查之橋涵斷面資料、坡度等資料，進行檢算各橋涵之通洪能力。此外，

在一般挾砂水流的條件下，可依據「集水區整體調查規劃參考手冊」計算其洪峰流量，本研究泥沙混合率以流量之10%為原則，另依「水土保持技術規範(2019)」第六十五條規定，野溪治理採用50年重現期距保護標準，做為本研究設計保護之標準，各集水分區水理分析成果詳表6。洪水量之計算公式如下：

$$Q_p = Q_0 * (1 + \alpha)$$

式中 $Q_p$ ：計畫洪水量(m<sup>3</sup>/sec)。 $Q_0$ ：推估流量(m<sup>3</sup>/sec)。

$\alpha$ ：水流中泥砂混合率，一般採用水流量之5%~10%，最大值為50%

表 5 研究區各控制點不同重現期距之洪峰流量分析成果表

	集水面積(ha)	分析方法	各重現期距(單位 cms)							備註	
			Q2	Q5	Q10	Q20	Q25	Q50	Q100		Q200
德文社東集水分區	978	合理化公式+Horner 雨型	338.46	399.16	421.36	443.66	442.23	465.17	474.13	515.59	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	291.34	372.65	421.72	471.04	481.60	531.51	572.53	615.25	
德文社集水分區	667	合理化公式+Horner 雨型	215.99	256.36	273.22	289.45	289.75	305.90	313.66	342.67	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	181.67	232.53	263.65	294.78	302.70	335.64	363.48	390.92	
南大武山集水分區	628	合理化公式+Horner 雨型	221.39	260.62	274.33	288.33	287.04	301.62	306.91	333.32	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	188.19	240.20	271.26	302.54	309.00	340.69	365.67	390.78	
大後溪集水分區	1,493	合理化公式+Horner 雨型	445.06	532.37	573.36	611.61	615.22	652.29	673.65	740.21	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	386.78	497.83	567.84	637.44	654.97	727.41	789.93	851.71	
瓦魯斯溪中游集水分區	4,099	合理化公式+Horner 雨型	887.84	1093.51	1212.00	1318.65	1344.83	1444.84	1526.57	1710.67	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	804.01	1058.51	1234.20	1405.80	1456.48	1627.38	1786.00	1944.44	
泰義大橋控制點	5,972	合理化公式+Horner 雨型	1214.82	1504.67	1674.49	1827.01	1866.75	2009.54	2130.43	2394.78	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	1111.60	1469.40	1717.68	1960.02	2032.95	2274.33	2501.29	2728.55	
瓦魯斯溪橋控制點	6,851	合理化公式+Horner 雨型	1298.22	1618.16	1808.24	1978.65	2025.36	2184.64	2323.95	2620.54	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	1203.16	1598.02	1873.23	2141.69	2223.95	2491.36	2746.09	3001.82	
瓦魯斯溪中下游集水分區	7184	合理化公式+Horner 雨型	1290.73	1616.45	1811.45	1986.06	2035.36	2198.40	2343.87	2648.58	
		三角形單位歷線+Horner 雨型	1154.75	1553.61	1836.07	2110.99	2199.59	2473.38	2743.30	3015.68	

資料來源：本研究整理

表 6 各集水分區水理分析成果表

集水分區	逕流係數 C	集水區面積 A(ha)	洪峰流量 (含砂)Qp(cms)	河段坡度 S(%)	河道深度 (m)	河道平均底寬 (m)	通洪斷面分析 (cms)
德文社東集水分區	0.75	978	584.66	10.68	2	23	657.38
德文社集水分區	0.75	667	369.20	12.5	1.5	32	648.11
南大武山集水分區	0.75	628	374.76	46.89	1.5	12	445.86
大後溪集水分區	0.75	1,493	800.15	6.25	2	38	875.14
瓦魯斯溪中游集水分區	0.75	4,099	1790.12	4.01	2	117	2220.80
泰義大橋控制點	0.75	5972	2501.76	3.68	3	106	3753.31
瓦魯斯溪橋控制點	0.75	6851	2740.50	3.41	2.3	98	2153.75
瓦魯斯溪中下游集水分區	0.75	7,184	2720.72	3.13	2	195	3289.26

註:n 值採用自然河道標準 0.33

資料來源：本研究整理

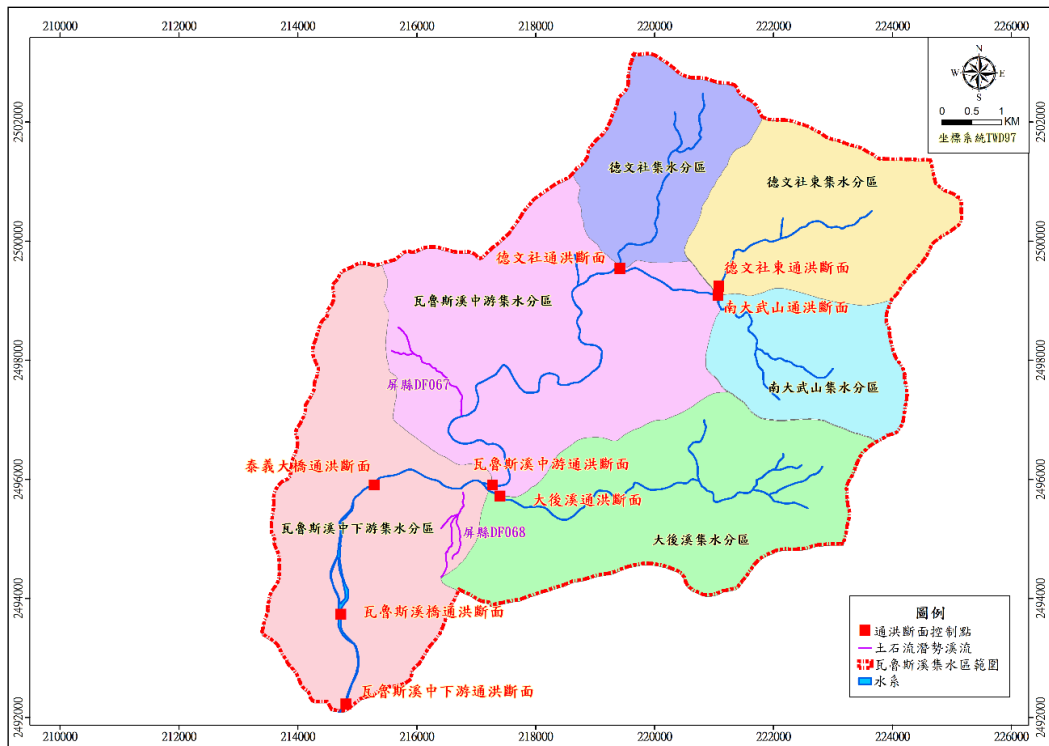


圖 12 各集水分區控制點位置圖

### 3.2.2 土砂收支分析

#### 1. 土壤沖蝕量

土壤沖蝕不僅對於土壤直接破壞，同時也造成土壤顆粒之搬運，土壤養分流失並導

致土地之生產力下降，在另一方面，也由於地表土壤之大量流失，經由水的攜帶，引發河道之淤積，造成許多災害。依據水土保持技術規範(2019)第三十五條規定，山坡地土壤沖蝕量之估算，得採用通用土壤流失公式



(Universal Soil Loss Equation, USLE), 其公式如下：

$$Am = Rm * Km * L * S * C * P$$

式中， $Am$ =土壤流失量(tons/ha/yr)； $Rm$ =降雨沖蝕指數(mj-mm/ha/hr-yr)； $Km$ =土壤沖蝕指數(tons-ha-yr/ha-mj-mm)； $L$ =坡長因數； $S$ =坡度因數； $C$ =植生覆蓋因數； $P$ =水土保持處理因數。

本研究依據 USLE 公式理論，利用 ArcGIS 估算研究區內各集水分區之土壤沖蝕量，根據分析成果各集水分區土壤沖蝕量估算表如表 7，從分析成果可得知，研究區範圍內土壤沖蝕較為嚴重的區域為德文社東集水分區，平均沖蝕深度為 0.1987 公尺，其主要原因為德文社東集水分區內既有崩塌地面積廣大，且其坡面平均坡度亦較大，因此沖蝕問題較為嚴重。

表 7 各集水分區土壤沖蝕量估算表

集水分區	土壤沖蝕量 (m <sup>3</sup> )	平均沖蝕深度(m)
德文社東	1,943,299.46	0.1987
德文社	757,915.18	0.1136
南大武	811,271.20	0.1292
瓦魯斯溪中游	851,647.29	0.0466
大後溪	2,247,795.89	0.1506
瓦魯斯溪中下游	45,163.89	0.0028
合計	6,657,092.91	0.0927

資料來源：本研究整理

然就總土壤沖蝕量來看，大後溪集水分區，平均沖蝕深度為 0.1506 公尺僅次於德文社東集水分區，但其集水分區面積較德文社東大，因此總土壤沖蝕量達 2247795.89 立方公尺，為土壤沖蝕量最大之集水分區，而全

研究區年平均土壤沖蝕量為 6,657,092.91 立方公尺，平均沖蝕深度為 0.0927 公尺。

## 2. 河道輸砂量推估

基於研究區內各河段並無實測斷面資料，故採用 Takahashi 公式推算各子集水分區之年平均輸砂能力。依據 Takahashi 平衡濃度公式 (1982)，推求各支流之輸砂平衡濃度，此公式為成功大學謝正倫教授依台灣地區特性修正參數，可用於各種底床坡度下，求得輸砂平衡濃度，再配合各重現期距流量計算河段輸砂能力。

$$Cd_{\infty} = \exp(1.73 \ln \theta - 5.83)$$

式中： $Cd_{\infty}$ =體積濃度(立方公尺/立方公尺)； $\theta$ =河道縱向坡度(°)。

參考水利署水利規劃試驗所「河川治理及環境營造參考手冊」(2006年)利用輸砂能力率定曲線代入各重現洪水歷線(包括 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年)，推算不同重現期洪水輸砂能力，再依發生機率加權相加計算河段之平均年輸砂能力，各控制點輸砂能力詳表 8，計算公式如下：

$$Q_A = 0.35 * Q_2 + 0.2 * Q_5 + 0.08 * Q_{10} + 0.04 * Q_{25} + 0.015 * Q_{50} + 0.005 * Q_{100} + 0.01 * Q_{200}$$

式中： $Q_A$ =平均年輸砂能力； $Q_{200}, Q_{100}, \dots, Q_2$ =200 年，100 年，2 年重現期洪水之輸砂能力。

## 3. 崩塌量土方量推估

依水土保持技術規範規定：「崩塌量調查方法，應由實測或部分配合推估實施之。新崩塌地，得利用實際勘查或航照圖判斷，亦

表8 各控制點輸砂能力一覽表

主要支流及控制點名稱	集水區面積(ha)	坡度(°)	體積濃度(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	各重現期距輸砂能力(m <sup>3</sup> )						平均年輸砂能力 Qs(m <sup>3</sup> )	
				2年	5年	10年	25年	50年	100年		200年
德文社東集水分區	978	25.15	0.778	3,243,909	4,813,929	5,877,730	6,894,733	7,216,613	8,201,656	9,174,144	3,247,356
德文社集水分區	667	14.81	0.311	884,753	1,312,964	1,603,108	1,880,488	1,968,279	2,236,942	2,502,181	885,693
南大武山集水分區	628	25.12	0.777	2,078,828	3,084,960	3,766,686	4,418,423	4,624,696	5,255,952	5,879,161	2,081,037
大後溪集水分區	1,493	17.58	0.419	2,665,542	3,955,639	4,829,772	5,665,450	5,929,941	6,739,358	7,538,458	2,668,375
瓦魯斯溪中游集水分區	4,099	2.30	0.012	216,295	320,979	391,910	459,721	481,183	546,863	611,706	216,525
瓦魯斯溪中下游集水分區	7,184	1.79	0.008	247,026	366,585	447,594	525,040	549,551	624,563	698,619	247,289

註:各重現期距輸砂能力=體積濃度乘以逕流體積

資料來源:本研究整理

可利用衛星影像以進行崩塌量之調查。」，因此為掌握最新集水區內之崩塌分佈區位，採用航空影像配合現地調查進行崩場地判釋，並參考石門水庫集水區依各崩塌區位及厚度分析之「崩塌坡度與崩塌代表性深度對照表」如表9，估算計畫區各子集水區之崩塌土方量，如表10，作為崩塌量推估及後續整治規模之依據。

表9 崩塌坡度與崩塌代表性深度對照表

坡面坡度(度)	崩塌平均代表深度(m)
<30	2.0
30~40	1.5
40~60	1.0
>60	0.5

資料來源:歐陽元淳(2003)

#### 4.泥砂控制目標

各控制點下游之河段輸砂能力可分析該河段之土砂流出量及土砂淤積量(或淘刷量)，

其土砂運移情形及流程詳表11及圖13。

由分析結果可知在瓦魯斯溪中游集水分區及中下游集水分區由於上游坡度陡峭且崩塌面積主要集中在上游坡面，因此在上游坡地土砂生產量較多，而中下游因坡度趨緩造成輸砂率下降，目前河段皆為淤積，瓦魯斯溪中游集水分區經土砂收支計算年淤積量約7,076,337立方公尺，在中下游集水分區經土砂收支計算年淤積量約2,754,108立方公尺，顯示瓦魯斯溪在中游過後土砂淤積量較多，而此結果也與現場調查符合，目前瓦魯斯溪主流在下游與林邊溪匯流口至瓦魯斯溪橋及泰義大橋現況河道皆為淤積狀況，後續若持續淤積將可能造成橋梁通水斷面不足，目前瓦魯斯溪橋水理分析其通洪斷面已不足，泰義大橋部分河道若持續壅高也會造成通洪斷面不足，考量其安全性建議應持續辦理土砂清除，以確保橋梁下方通洪斷面足夠。

表 10 計畫判釋崩塌地土方量估算表

崩塌地編號	崩塌面積(m <sup>2</sup> )	坡度(度)	崩塌深度(m)	崩塌量(m <sup>3</sup> )	集水分區
M01	1,716,353.97	45.17	1.00	1,716,353.97	德文社東集水分區
M02	209,669.88	51.16	1.00	209,669.88	德文社東集水分區
M03	38,714.67	35.58	1.50	58,072.01	德文社東集水分區
M04	540,773.39	30.95	1.50	811,160.09	德文社東集水分區
M05	13,636.11	31.31	1.50	20,454.17	德文社東集水分區
M06	44,050.21	37.86	1.50	66,075.32	德文社東集水分區
M07	646,100.36	29.33	2.00	1,292,200.72	德文社東集水分區
M08	97,163.22	32.87	1.50	145,744.83	德文社東集水分區
合計	3,306,461.81			4,319,731	德文社東集水分區
M09	190,111.06	38.34	1.50	285,166.59	德文社集水分區
M10	1,713,657.11	32.69	1.50	2,570,485.67	德文社集水分區
M11	97,449.68	31.97	1.50	146,174.52	德文社集水分區
合計	2,001,217.85			3,001,827	德文社集水分區
M14	377,822.34	39.42	1.50	566,733.51	南大武山集水分區
M15	243,516.28	42.03	1.00	243,516.28	南大武山集水分區
合計	621,338.62			810,250.00	南大武山集水分區
M17	175,174.57	51.38	1.00	175,174.57	大後溪集水分區
M18	74,118.20	34.30	1.50	111,177.30	大後溪集水分區
M19	392,166.04	42.62	1.00	392,166.04	大後溪集水分區
M20	586,256.57	38.19	1.50	879,384.86	大後溪集水分區
M21	50,204.37	43.43	1.00	50,204.37	大後溪集水分區
M22	25,989.40	38.27	1.50	38,984.10	大後溪集水分區
M23	27,379.44	36.93	1.50	41,069.16	大後溪集水分區
M24	29,013.96	38.68	1.50	43,520.94	大後溪集水分區
M25	135,453.20	38.98	1.50	203,179.80	大後溪集水分區
M26	15,518.84	26.02	2.00	31,037.68	大後溪集水分區
合計	1,511,274.59			1,965,899	大後溪集水分區
M12	114,826.61	29.15	2.00	229,653.22	瓦魯斯溪中游集水分區
M13	63,410.38	30.16	1.50	95,115.57	瓦魯斯溪中游集水分區
M16	86,717.14	36.89	1.50	130,075.71	瓦魯斯溪中游集水分區
M27	50,775.53	34.07	1.50	76,163.30	瓦魯斯溪中游集水分區
M28	16,602.48	33.28	1.50	24,903.72	瓦魯斯溪中游集水分區
M29	24,197.10	38.72	1.50	36,295.65	瓦魯斯溪中游集水分區
合計	356,529.24			592,207.17	瓦魯斯溪中游集水分區

資料來源：本研究整理

表11 各控制點泥砂運移計算表

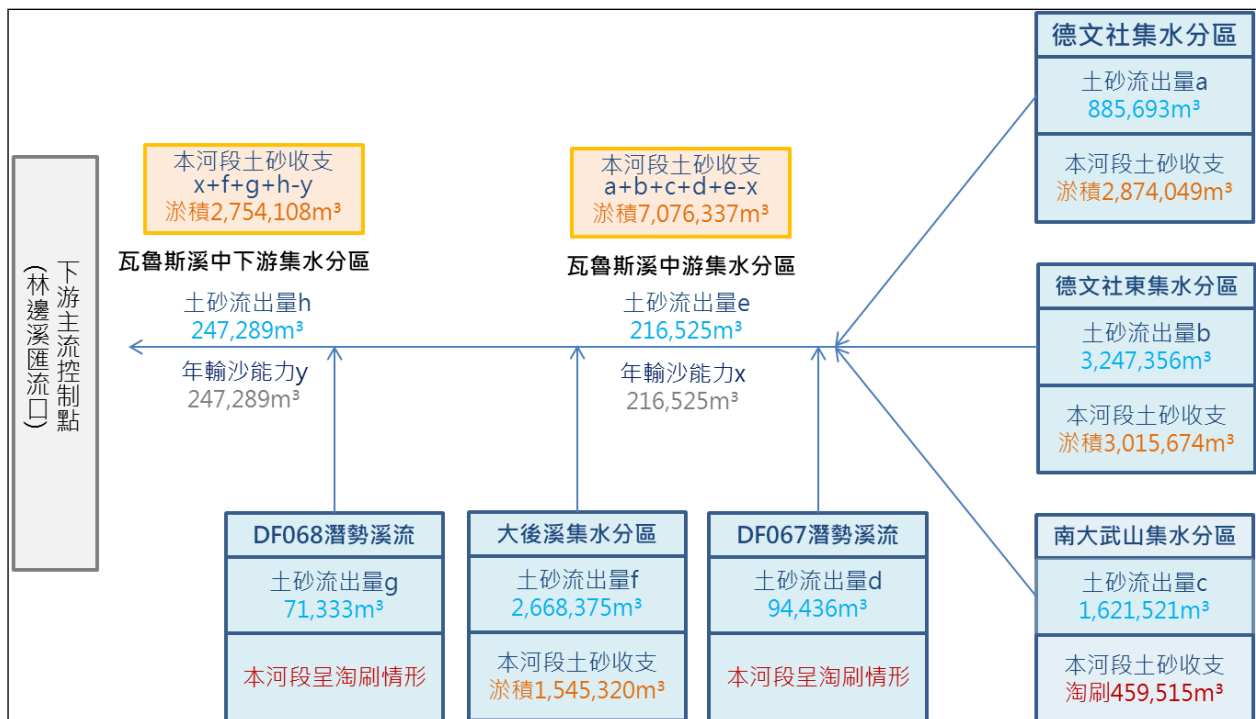
主要支流及控制點名稱	年平均崩塌量 S1 (m <sup>3</sup> )	年坡地沖蝕量 S2 (m <sup>3</sup> )	合計 S1+S2 (m <sup>3</sup> )	河段年輸砂能力 Qs(m <sup>3</sup> )	平均年土砂流出量 S3(m <sup>3</sup> )	集水區(河段)平均年河道土砂淤積量 (m <sup>3</sup> )註
德文社東集水分區	4,319,731	1,943,299	6,263,030	3,247,356	3,247,356	3,015,674
德文社集水分區	3,001,827	757,915	3,759,742	885,693	885,693	2,874,049
南大武山集水分區	810,250	811,271	1,621,521	2,081,037	1,621,521	(459,515)
大後溪集水分區	1,965,899	2,247,796	4,213,695	2,668,375	2,668,375	1,545,320
瓦魯斯溪中游集水分區	592,207	851,647	1,443,854	216,525	216,525	7,076,337
瓦魯斯溪中下游集水分區	0.0	45,164	45,164	247,289	247,289	2,754,108
屏縣 DF067					94,436	
屏縣 DF068					71,333	

資料來源：本研究整理

註 1:集水區(河段)平均年河道土砂淤積量=(S1+S2)-S3

註 2:南大武山集水分區無淤積

圖13 各控制點泥砂運移計算示意圖



## 四、集水區治理規劃及對策

本研究依據前述集水區調查與分析成果，規劃各集水分區治理順位，並擬定相關治理對策。

### 4.1 集水區治理規劃

#### 4.1.1 治理順序評估

本研究依集水區水系特性將本規劃區劃分為6個集水分區，並參考水土保持局「集水區評估指標及區分治理優先順序」，利用研究區內各集水分區之保全對象、地形起伏比、地質、綠覆率、土壤沖蝕、崩塌率及土石流潛勢溪流等七項因子評估治理之優先與否，並以集水分區為單元進行評估。

##### 1. 保全對象

洪水、崩塌及土石流為自然現象，惟其發生過程容易傷及集水分區內的人口、房屋、聚落區位、農地、文化古蹟及公共建設等人民最關切之災難。故以上述六項因素作為評估之基礎，計算集水分區各分項之加權累積分數為該集水分區得分，以及集水分區間互相比較優先次序。

##### 2. 地形起伏比

集水分區地勢陡峻不易涵養水分，再加上河川源流短急，雨量豐沛時逕流量大增，往往造成災害。故地形起伏比應列為評定集水分區危險程度的重要指標，評定準則為「集水分區內最高點至最低點的高程差」與「集水分區主流長度」之比率，可利用1/50,000地形圖或1/25,000地形圖套疊於GIS地理資訊系統上，求得集水分區之地形起伏比一值。

##### 3. 地質

地質在高溫多濕地方很容易風化劣化，調查主要分為地質性質與地質構造兩部分。地質性質以臺灣地區集水區內常見的硬岩、砂頁岩、紅土台地邊緣及泥岩等作為評分的考量因素；地質構造則以集水分區內有無斷層構造存在作為評分之標準。

##### 4. 綠覆率

森林綠覆率調查基於集水分區內自然生態的水源涵養功能與環境保全有密切關係，可為評定集水分區涵養水源的有效指標。評定準則為該集水分區內所有由森林或綠色植被所覆蓋之面積與集水分區總面積百分比值定之，給分標準以綠覆率愈低，相對地其裸露率高、地表逕流係數高，其土壤沖刷量亦高，定其影響數據因子。因此，綠覆率愈低其得分愈高。

##### 5. 土壤沖蝕

土壤沖蝕雖為自然現象，惟土壤沖蝕指數及降雨沖蝕指數因地而異，為便於評估集水分區土壤沖蝕情形，以水土保持技術規範第二章第八節土壤流失量章節裡現有臺灣各地降雨沖蝕指數(Rm)及土壤沖蝕指數(Km)等資料作為評估之依據。

##### 6. 崩塌率評估

集水分區內崩塌情形以崩塌率來表示重要性，崩塌率越大則得分越高。

##### 7. 土石流潛勢溪流數評估

山坡地土石流災害對人民的生命財產安全造成極大之威脅，帶來嚴重的災害。土石

流所造成之影響亦是評估集水區治理最重要的特性因子。目前臺灣地區土石流潛勢溪流分高、中、低三種潛勢，共計有1,725條，集水區內潛勢溪流數越多則其得分越高。

## 4.1.2 優先治理順序

經治理順序評估後，本研究歸納各集水分區治理優先順序如表12。由表可知，優先治理排前兩名分別為瓦魯斯溪中下游集水分區及瓦魯斯溪中游集水分區，推測主要影響因子應為保全對象。

## 4.2 治理對策研擬

### 4.2.1 溪流治理

#### 1. 治水

野溪治理工法之選擇需考慮當地地質、地形、水文情況、植生情況、生態環境需求(如特定物種之培育、保護)、材料取得等當地因素。在無安全疑慮之考量下，優先以生態工法施作，但為確保研究區內河段之安全，仍須經調查分析，包括河段之現況沖淤分析、水理演算及疏浚量分析等，方可決定。

對上述之各種工法，在選用及施作之前應事先調查工址之現況及水理計算，根據計算成果選擇合適斷面，並評估工程構造物失敗可能造成之潛在性災害。於災害風險較低之工址，可採用柔性、多孔、低矮之工程設計。反之，對於高流速、陡峭、易滑動、土壓大之不穩定河岸則必須採用剛性、實心、大規模之防災構造物，因此本研究採用之野溪治理之對策包括：

#### (1) 計畫流量：

依前述水文分析或「水土保持技術規範」合理化公式估算重現期距50年之流量為設計基準。

#### (2) 計畫河寬：依據現場既設構造物護岸上、下游斷面寬度決定之。

(3) 治理工法：依據生態工法精神，工法選擇需考慮當地地質、地形、水文情況、植生情況、生態環境需求(如特定物種之培育、保護)、材料取得等當地因素。生態工法之種類依水土保持局之研究成果及考量本研究區現況，擬定溪流、野溪及坑溝之河段平順處及凸岸處採混凝土砌石護岸或重力式護岸，凹岸處則採用重力式或懸臂式護岸面飾造型模板改善，並依現地狀況，配合固床工進行改善，另依據凹岸沖刷深度分析結果設置基腳。

(4) 避免野溪渠道化:因整治工程受限於土地權屬，並配合水文分析斷面，僅考慮護岸保護，缺考量生態環境新思維，可能造成混凝土使用過量，因此本研究研提相關措施如下：

a. 由水理演算成果，計算最小所需斷面，並依現況河岸寬度進行規劃，不束縮河道，並做為緩衝空間。

b. 除保護保全對象進行護岸配置外，其餘河段以橫向構造物，取代縱向構造物。

c. 利用緩坡化及多孔隙化，改善現有渠化野溪。

表12 評估指標分析結果

集水分區	保全對象 (40%)		地形起伏比 (5%)		地質(5%)		綠覆率 (10%)		土壤沖蝕 (10%)		崩塌率 (15%)		土石流潛勢溪流數 (15%)		總分	備註
	給分	得分	給分	得分	給分	得分	給分	得分	給分	得分	給分	得分	給分	得分		
德文社東集水分區	0	0.0	80	4	40	2.0	40.0	4	70	7	100	15	20	3.0	35.0	一般治理
德文社集水分區	0	0.0	40	2	40	2.0	40.0	4	70	7	100	15	20	3.0	33.0	一般治理
南大武山集水分區	0	0.0	80	4	40	2.0	40.0	4	70	7	100	15	20	3.0	35.0	一般治理
大後溪集水分區	0	0.0	60	3	40	2.0	40.0	4	50	5	100	15	20	3.0	32.0	一般治理
瓦魯斯溪中游集水分區	28	11.2	40	2	40	2.0	20.0	2	70	7	80	12	56	8.4	44.6	優先治理
瓦魯斯溪中下游集水分區	80	32.0	20	1	40	2.0	20.0	2	50	5	20	3	38	5.7	50.7	優先治理

## 2. 土砂防治

研究區上游地質以畢祿山層以及廬山層為主，大部分由黑色到深灰色的硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色的硬砂岩互層組成，風化後易破碎，易受雨水、逕流冲刷而產生崩塌，亦為下游河道堆積物之主要來源；為減少土砂下移，乃建議於大後野溪施設3座連續式梳子壩，防止河岸冲刷造成土砂下移，以直接處理方式達到土砂防治之功效。

### 4.2.2 崩塌地治理

崩塌地最主要之處理對策及原則，為防患二次災害之發生，通常造成二次崩塌災害之主要原因，除了地震外則為降雨及人為擾動，因此處理崩塌地應以擾動程度最小之原則著手。崩塌地整治以源頭填補裂縫並施作截水分水工，崩塌坡面施作截水、排水工及植生等工法加以整治，並採以安全為基礎、生態為導向的工程方法，以減少對自然環境

造成傷害，其評估流程如圖14所示。且由於研究區內崩塌地之破壞機制不盡相同，處理方式亦因崩塌型態之不同而有所差異並依據崩塌地規模之不同，選定不同之邊坡工法。

#### 1. 溪流兩岸崩塌地

溪流兩岸產生崩塌之原因大多為河岸坡腳受逕流侵蝕、淘空所造成，由於基腳若持續受侵蝕，易造成坡面不穩定，且崩落之土石亦直接受豪大雨逕流之挾帶、下移，容易造成水質污染等之二次災害，建議採用可就地取材之土石加以堆疊，或施以護岸進行保護；坡面部分則應視其崩塌規模及坡度，決定整治工法，對於工程施作困難且有必要儘早復育之河岸崩塌地，可採用以人工噴植草種方式予以儘早完成地表裸露地植生覆蓋，而於交通無法到達或陡削岩坡者，建議採自然復育方式；另，每逢颱風豪雨來襲，雨水由崩塌位置挾帶大量土石流入溪流內，建議

於土石流及局部崩塌較嚴重位置施設攔砂措施及落實疏散避難計畫。

## 2. 坡面崩塌地

研究區內之坡面崩塌大多因逕流沖蝕或入滲，導致坡面弱化而形成，故於進行治理時應特別注意崩塌誘因之消除，即坡面逕流之安全排水，此部分可藉由施設截排水系統，一方面攔截地表逕流水滲入崩塌區內，另一方面可將逕流水迅速排出崩塌範圍，防止崩塌範圍擴大；而崩塌坡面之植生建議採用之處理方式包括：鋪網植生及人工撒播工法等。

### 4.2.3 道路治理

道路設置後，天然之坡面遭受開發破壞，開挖坡面或填方土方逢豪雨後即產生崩落狀況，故需設置道路縱橫向排水及邊坡穩定等手段處理(詳表13)。

## 1. 路基及邊坡改善方式

路基及邊坡之養護包含使路基、路肩、邊坡、擋土牆及其他保護路基設備，經常能保持穩定安全及完整。

## 2. 路面之養護

本研究之道路路面包括瀝青路面、混凝土路面及砂石路面等，因受交通荷重、天候條件等外界作用及本身老化等影響而降低其服務性，需針對鋪面不同型式進行養護、改善。

## 3. 道路排水設施改善方式

本研究之道路路面包括瀝青路面、混凝土路面及砂石路面等，因受交通荷重、天候條件等外界作用及本身老化等影響而降低其服務性，需針對鋪面不同型式進行養護、改善。

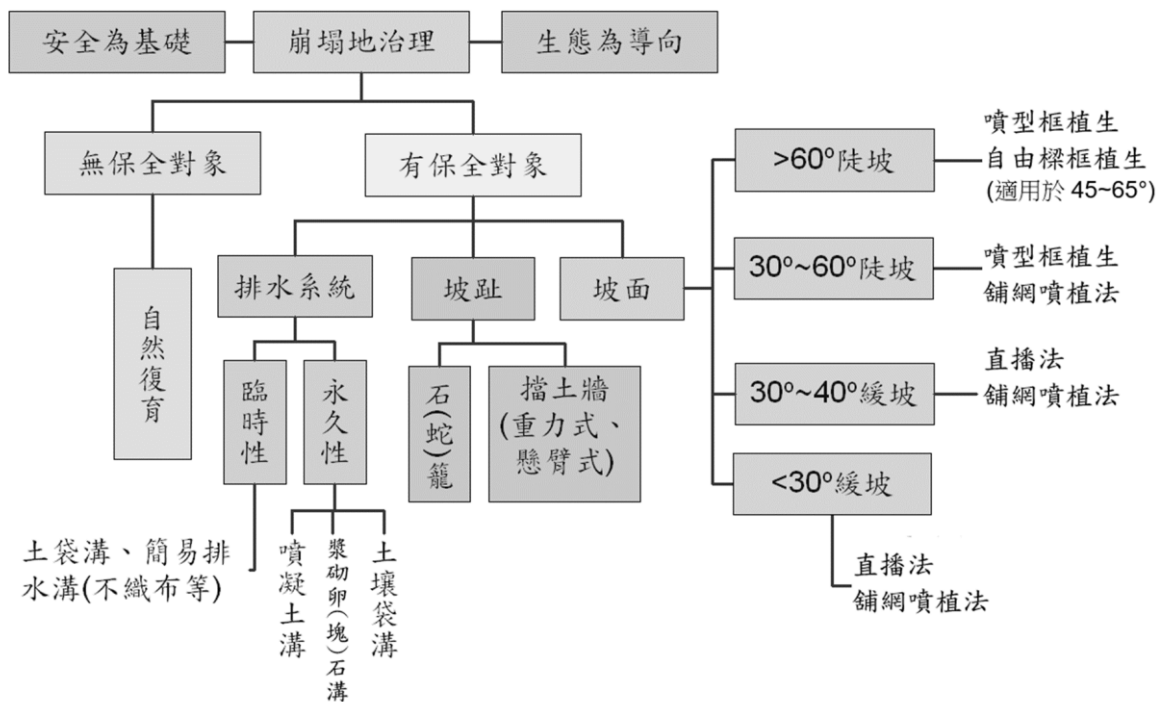


圖14 崩塌地治理評估流程圖



表13 道路水土保持改善措施

位置	沖蝕現象	控制方法
上邊坡	逕流自挖方上端集中，發生溝蝕	截洩溝、排水溝
	挖方本身缺乏植生保護，發生沖蝕	植生盤、植生帶、種子噴射法
	坡腳因底土滲流，發生崩坍	擋土牆、格籠、蛇籠、PVC板、底土排水、預鑄框客土植生法、自由型框客土植生法
下邊坡	道路排水系統不良，沖蝕下坡	改良排水措施，簡易土埂
	填方未壓間生裂縫或坡腳淘刷因而發生坍塌	消除裂縫、坡腳拋石及填土
	填方無表層安定處理及植生覆蓋、發生嚴重沖蝕	打樁埋枝、綠化帶
路面及側溝	路面坡降過大，發生沖蝕	橫向排水溝、路面種草或鋪設混凝土
	路溝溝底過陡，發生沖蝕	跌水、堆石及植生保護

- (1)路面排水之養護
- (2)邊溝改善依現地採用不同之型式，以土溝、漿砌溝或混凝土溝改善。
- (3)坡面排水之方式以截水溝將雨水攔截並導流於平緩山坡或自然溝壑，使其不致沿邊坡直沖而下，造成沖刷及破壞邊坡之穩定。
- (4)地下排水設施之方式以地下排水設施倘發現已降低不能發揮預期效果時，應採新設、增設或改修等各種因應措施。

#### 4.2.4 保全對象治理

保全對象針對大後聚落以及佳興聚落內需要改善之項目特別彙整，其處理原則主要為聚落內之排水系統功能之妥善、聚落內邊坡安全之確保以及進出聚落通路之安全等，

希望透過改善可以加強聚落內居民生活之安全。

針對聚落內之排水系統、邊坡穩定設施以及進出動線道路功能妥善之原則，分別依據坑溝以及道路之對策與工法，選定適當治理之工法進行改善，故在聚落內排水系統將採RC縱橫向排水溝之工法進行改善，而邊坡穩定設施部分則考量居民之生活安全以及既有房舍位置，採RC擋土牆之工法進行改善。

## 五、結論與建議

本研究依據集水區調查與分析成果，評估各集水分區優先治理順序，並研擬相關治理對策，其整體治理建議歸納成以下兩點：

- 1.由於瓦魯斯溪集水區主流河道大致已整治完成，主流河道主要問題為上游集水區土

處邊坡有湧泉之現象發生，可見佳興聚落地下水仍相當豐沛，是否尚有可能造成土體滑動之可能，建議未來以專案調查方式進行評估，以確保佳興聚落之安全疑慮，其專案調查內容應包含聚落地形分佈、地表地下地質調查、地下水調查、物理探測地表下地層分佈等，有利於評估聚落安全之項目。

砂下移，落淤於中下游河段，使中下游河段土砂淤積嚴重，建議應針對瓦魯斯溪主流進行長期清疏計畫，且清疏後土砂以現況就近堆置於瓦魯斯溪與大後野溪匯流口上游左岸，以及泰義大橋下游右岸為主，評估該土方堆置區仍可提供至少50萬立方公尺土砂堆置空間，可有效避免河道溢淹之問題；野溪坑溝的部分亦大致整治完成，但部分河道上游未控制縱向渠道坡度或設置消能設施，以致上游河道會有基礎淘刷之問題，而下游要匯流進入瓦魯斯溪主流的部分，則因坡度減緩，土砂易淤積在下游過路箱涵，易造成箱涵阻塞影響排水功能，必須留意後續維護管理工作之落實。

2.本研究集水區主要保全對象為大後聚落以及佳興聚落，兩聚落皆有一條以上坑溝穿越聚落，聚落內排水為聚落安全之主要問題，在大後聚落部分，將主要坑溝整治完成後，即可確保聚落內排水功能暢通；在佳興聚落部分，現況雖已趨於穩定，然佳興聚落位於坡度甚為陡峭之邊坡，聚落內縱橫向排水雖有設置，但並未設置完整排水系統，且以往興建之擋土牆多數皆過於老舊，各階段大大小小之擋土牆已損壞以及錯動，且在現況聚落房舍與擋土牆配置狀態而言，各項改善工程措施之施工性亦面臨挑戰，以致佳興聚落仍有其安全之疑慮。建議應配合佳興聚落安全性評估之專案調查與分析成果，研擬整體性之改善方案，以單一階段平台重新整建之系統規劃，來解決聚落內施工性不良之問題。此外，佳興聚落現況雖已趨於穩定，但在聚落連續三天大雨事件發生時，聚落周遭仍有兩

## 六、參考文獻

- 1.交通部中央氣象局
- 2.行政院農委會水土保持局(2017)，「水土保持手冊」
- 3.行政院農委會水土保持局(2008)，「集水區整體治理調查規劃參考手冊」
- 4.行政院農委會水土保持局(2019)，「水土保持技術規範」
- 5.行政院農委會水土保持局土石流防災資訊網
- 6.屏東縣政府
- 7.謝正倫，「Takahashi(1981)輸砂平衡濃度修正公式，(1998)」
- 8.歐陽元淳，「水庫集水區土壤沖蝕之研究—以石門、翡翠水庫為例」，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文，(2003)
- 9.經濟部水利署(2003)，「台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析」
- 10.國家災害防救科技中心針對莫拉克颱風以及凡那比颱風災區勘災計畫
- 11.行政院農業委員會林務局「自然資源與生態資料庫系統」(2003)
- 12.Takahashi，「平衡濃度公式」，(1982)

## 水保新利器－BigGIS 整合山坡地航遙測圖資加值與應用

### The Innovative Device of SWCB - BigGIS integrates the Application of Aerial Survey and Remote Sensing Data in Slopeland

吳振佑<sup>1</sup>、陳振宇<sup>1</sup>、許焯志<sup>1</sup>、柯明勳<sup>2</sup>、劉正千<sup>2</sup>

Chen-Yu WU<sup>1</sup> Chen-Yu Chen<sup>1</sup> Hsin-Chih Hsu<sup>1</sup> Ming-Hsun Ko<sup>2</sup> Cheng-Chien Liu<sup>2</sup>

1.行政院農業委員會水土保持局

2.國立成功大學全球觀測與資料分析中心

1. Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan

2. Global Earth Observation and Data Analysis Centre, National Cheng Kung University

#### 摘要

行政院農業委員會水土保持局長期致力於山坡地防減災工作，從歷年計畫執行成果中，累積了大量珍貴圖資，為將豐富資源有效整合應用，建置了「巨量空間資訊系統」(簡稱BigGIS)。使用者可設定多種條件，快速搜尋查找巨量影像圖資，並透過3D模式或多視窗檢視，搭配多樣客製化工具與即時線上分析功能，提升水土保持業務執行規劃效率，亦整合多個單位提供之底圖或API服務，滿足各方使用者的需求，成為輔助水土保持業務應用之新世代的空間資訊系統。

**關鍵字：**巨量資料、遙測影像、網路地理資訊系統、防災

#### Abstract

Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, has been committed to slopeland disaster prevention and mitigation in past decades. In past years, large amounts of precious GIS data have been collected from the implementation results of the plans. To make these GIS resources available for better integration and application, the “Big Geospatial Information System” (BigGIS) is established. With BigGIS, Users can set a variety of search criteria to quickly access huge amounts of remote sensing images. Meanwhile, through the 3D mode or the multi-window viewing with a variety of customized tools and online digital functions, BigGIS improve the execution and planning effectiveness for soil and water conservation. Also, BigGIS satisfies various users’ needs by its base maps or API services provided from multiple organizations. All in all, BigGIS is now becoming a new generation GIS that can better assist government officials and engineers in management of soil and water conservation.

**Key Word:** Big Data, Remotes Sensing Images, WebGIS, Disaster Prevention

間圖資資料庫，從源頭控管圖資之格式與品質，並可迅速發布不同類型的空間資料，達成資料有效整合再應用之目標，相關功能特色分述如下。

## 一、前言

行政院農業委員會水土保持局長期致力於山坡地防減災工作，從歷年計畫執行成果中，累積了大量衛星影像、航空照片與無人飛機空拍影像等珍貴圖資。為將豐富資源有效整合應用，水保局建置了「巨量空間資訊系統」(Big Geospatial Information System, 簡稱BigGIS)，並開放民眾線上瀏覽檢索，使用者可設定任意時間、空間、或其他屬性，快速搜尋查找巨量影像圖資，如圖1所示。除了提供一般線上地理空間資訊的工具外，更開發多項線上數化加值分析工具，提昇水土保持業務執行規劃效率，並整合多個單位提供之底圖或服務，透過多維度、多視窗的展示介面，用不同角度檢視豐富與多樣的歷史圖資，滿足各方使用者的需求，是為水保與防災新利器。

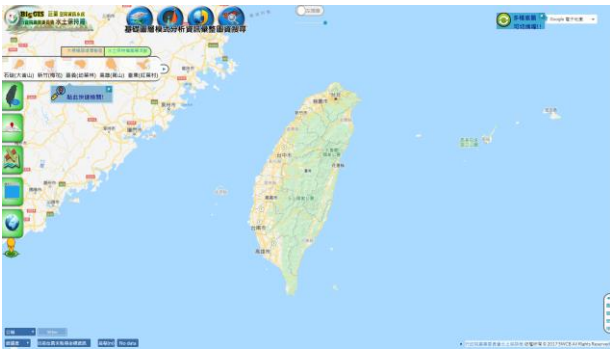


圖1 BigGIS首頁(<https://gis.swcb.gov.tw>)

## 二、BigGIS 功能特色介紹

BigGIS核心使用完全支援開放源碼之先進技術，針對水保局建置與應用巨量空間圖資之特性，導入超融合的伺服器架構，以兼具效能、擴充性與一致性之檔案標準化處理技術，將資料整合倉儲於符合國際標準之空

### 2.1 整合巨量圖資資源

在執行山坡地保育治理、監督管理或土石流防災業務時，經常需要歷年多元航遙測影像，以因應不同的工作需求。BigGIS從106年開始規劃建置以來，已彙整超過60TB的資料，主要資料類型為衛星影像、航空正射影像以及無人機空拍正射影像；其中累積超過13,000幅衛星影像中包含9顆來自不同國家的衛星，最早的衛星影像更可回溯至1966年，而解析度最高者達0.5m；而在航空照片方面，歷年與農林航空測量所合作中取得逾40,000幅之航空正射影像亦已納入系統。此外，在細部調查規劃或災害緊急調查時，常會透過UAV輔助拍攝，截至108年底，水保局計已產製超過20萬公頃多時期無人機空拍正射影像、建置逾100處實景3D模型。

為能更便利地搜尋各種不同時期影像及圖資來源，BigGIS提供整合式圖資搜尋工具，使用者可以依照需求，設定影像拍攝日期、篩選行政區域範圍，或在地圖上直接框選關注範圍後，即可快速得到不同類別的影像圖資及其數量，其中也包含水保局歷史影像平台內的歷史災害照片或重要地景影像，如圖2所示。針對影像搜尋的成果除可進一步依據影像類別(如衛星影像、航空照片、歷史照片、空拍產品等)篩選外，亦可利用衛星名稱或是行政區域進行，在BigGIS巨量多元圖資的完整架構下，均能快速便捷地找到最符合使用者需求的影像圖資。

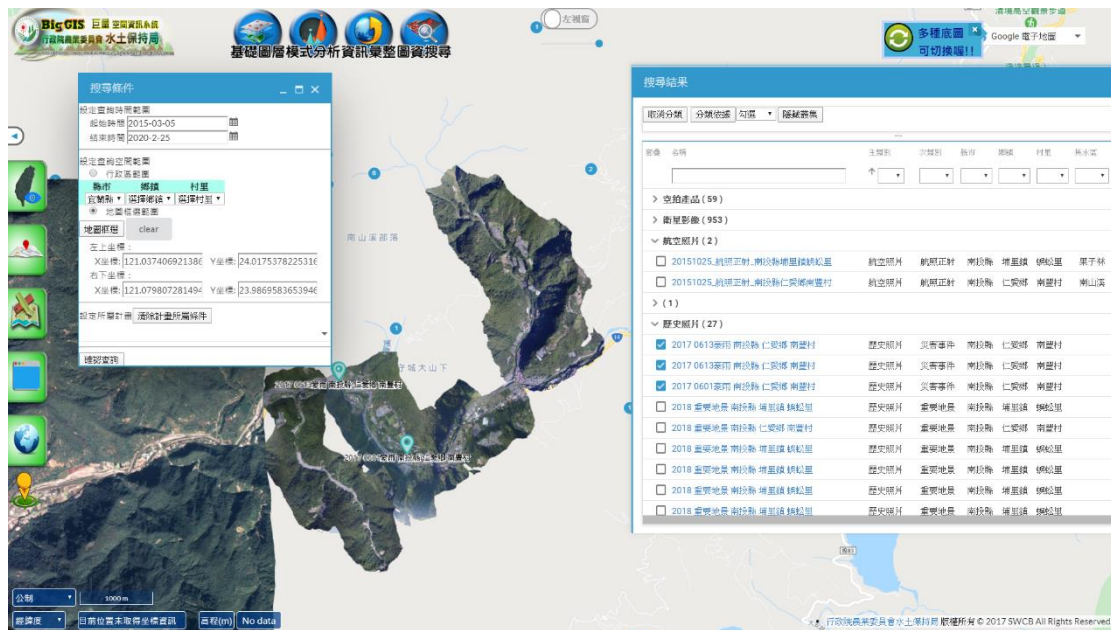


圖2 整合式圖資搜尋工具

## 2.2 影像處理技術與品質檢核

由於光學衛星影像的品質會受到取像時的天候影像，除了需要依照衛星本身拍攝的參數進行校正外，許多細節常會因為雲覆等原因不易辨識，而BigGIS為提供使用者最佳的視覺效果，會將影像進行分層自適化增揚處理(Liu, 2020)，解析各種雲覆情境，經過此方法處理之後，衛星影像可以在使用者檢視影像圖磚之任何細節層中，都能夠以最適合該細節層之自適化對比增揚方式來呈現影像，針對土砂災害發生後，能從大範圍的區域中快速辨識出災害影像範圍，提昇地表裸露地或建物較好的檢視效果，如圖3所示，對於有影像判釋需求的人來說，能夠省下圖資取得與前處理的時間，並在線上直接完成各式圖資套疊需求。

為確保水保局購置的衛星影像或計畫所產出的UAV正射影像均保有一定的幾何精度，BigGIS在收到相關圖資時，會先進行幾何偏差精度檢核，透過內政部國土測繪中心所提

供的臺灣通用電子地圖以及林務局農航所所提供的25cm解析度之正射影像，選定有空間特徵可以進行匹配的区域，進行偏移量計算，針對均方根偏差過大的衛星影像採取現場絕對精度檢核，而UAV空拍正射合成影像若偏移量較大，則會請上傳者校正過後，再重新上傳符合精度規定的正射影像，確保在BigGIS上所展示的圖資品質都能符合使用需求。

## 2.3 客製化管理多元圖資

除了典藏巨量影像圖資外，BigGIS也彙整了不同單位提供的基礎向量圖層，包含行政區界、道路圖、水利署、林務局及地調所之常用圖資，輔助水土保持業務執行時，經常需要套疊各單位權屬範圍，釐清工程或災害現場的責任歸屬，或是在進行工程規劃時判斷地質狀況與不同計畫分區等。一般而言，傳統的Web GIS平台若圖層資料量過大時，可能會導致系統操作不流暢或網頁無法正常顯示，但現在BigGIS透過向量圖磚的技術，

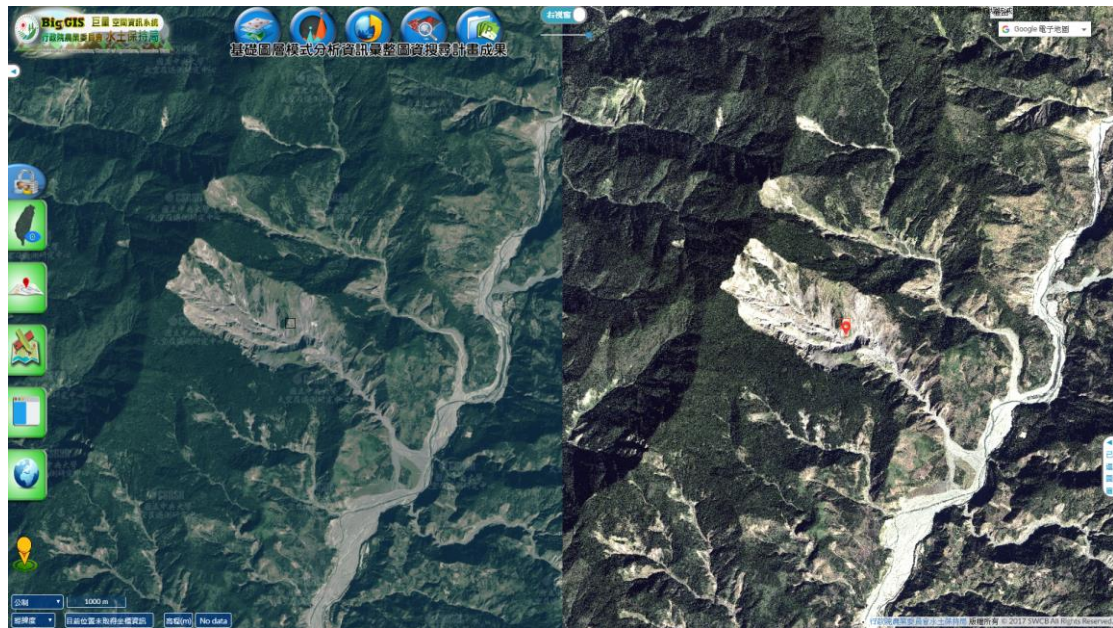


圖3 2019年SPOT衛星影像經分層自適化增揚處理前(左)後(右)之效果

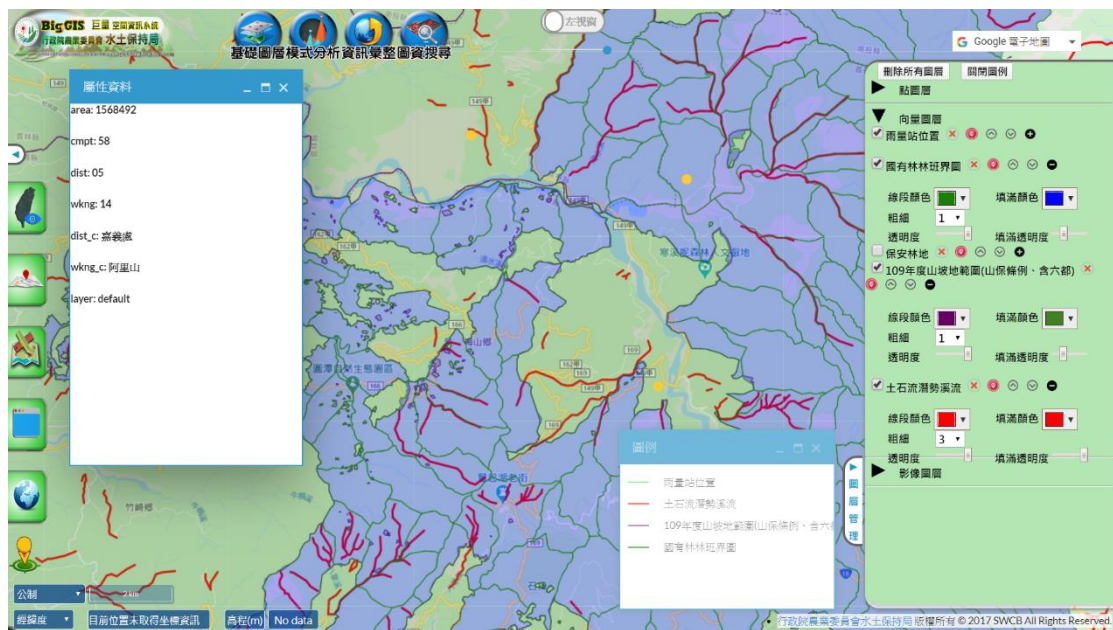


圖4 外部向量圖資匯入與客製化圖層管理

不僅可保留所有的屬性資料，亦大幅提升系統效能與展圖速度。此外，為能夠輕易辨識不同圖層堆疊後之差異，BigGIS提供使用者自行設定向量圖層階層順序、填滿顏色、線段顏色、粗細及透明度等，滿足使用者任意調整、比對之需求。另外，針對系統尚未提

供之圖資，BigGIS則客製化了向量圖資匯入工具，對於3MB以內如shp、kml等常見向量圖資，均可快速匯入至BigGIS內，並與系統內既有圖資進行套疊分析。分析結果資料亦可輸出為標準GeoJSON等格式，方便後續之資料交流與共享。相關功能頁面如圖4所示。

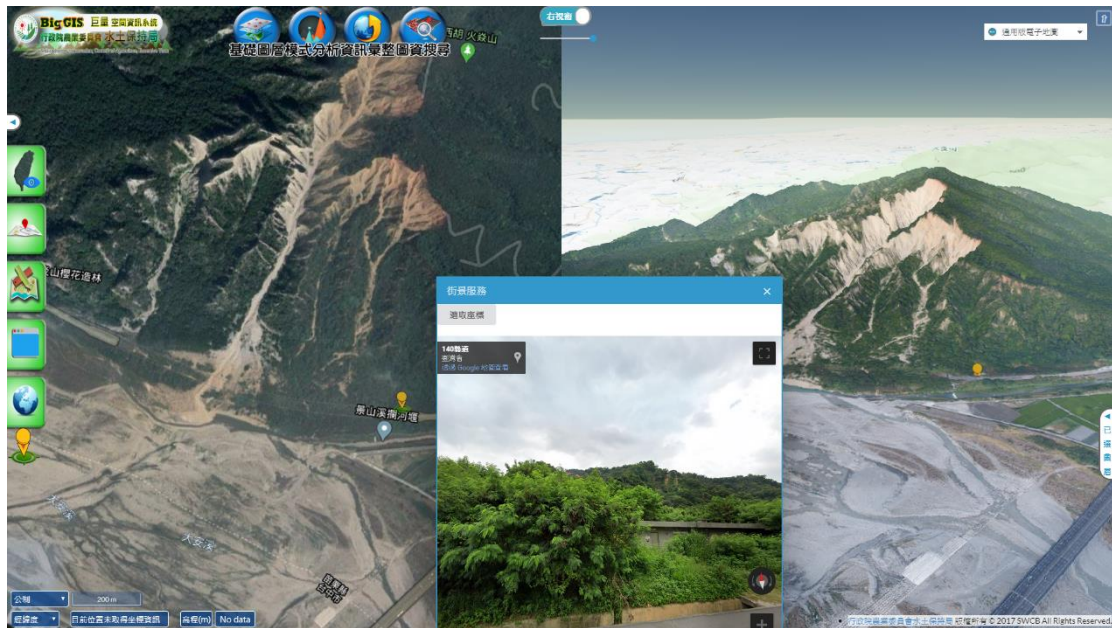


圖5 雙視窗結合3D模式與街景連動

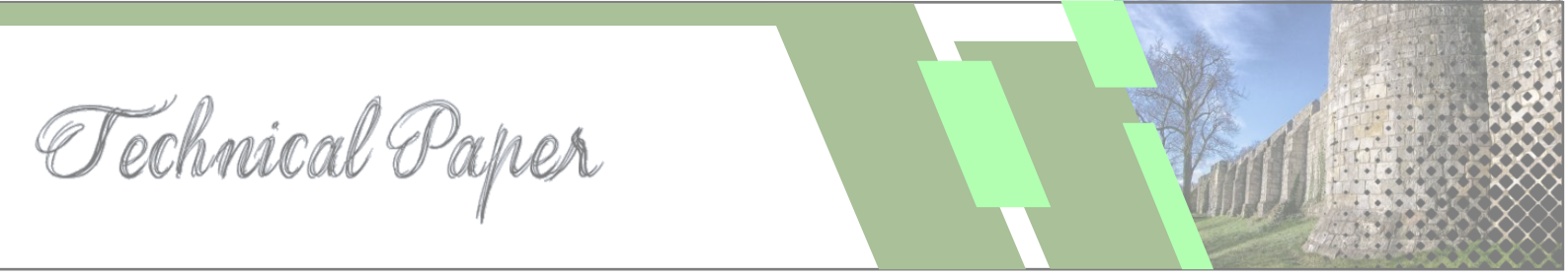


圖6 Sentinel-2線上單期影像裸露地自動判識分析

## 2.4完整的檢索瀏覽工具

為快速找到使用者關心的地點，BigGIS 提供多樣的定位工具，可利用模糊地址或地標資訊定位、土石流潛勢溪流編號定位與坐標定位等，依照使用者所擁有的資訊來源，

迅速移動系統畫面至該定點。同時，為滿足前後期影像之比對需求，BigGIS提供不同的視窗模式進行多元之圖層組合檢視。除可自由切換單/雙視窗外，亦可利用滑動視窗功能，配合雙視窗畫面中心之方框精確地比對不同時期影像之差異。



定所需要的光譜波段與範圍，並可快速分析與下載完整衛星影像資料與執行成果，透過衛星影像圖資參數調整工具，能達到客製化的成像效果。同時，BigGIS亦提供圖資序列化動態GIF檔產製工具，方便使用者針對關注區域進行線上多期快速截圖，並產製動態GIF檔。除能自訂調整影格撥放的速度、加入坐標格線、說明文字內容及文字大小外，此動態GIF檔亦可隨使用者在圖台上放大縮小檢視區域時同步變化，在執行分析結果或時空間變化說明時，可當作簡便的輔助圖示工具。

另一方面，BigGIS亦支援3D模式檢視。在此模式中，可將各種影像圖層套疊至全島20m解析度之地形資料，除在坡地中明顯看出地形起伏之效果外，亦可將資料庫中建立之3D模型，透過obj的開放格式，在圖台上直接檢視。此外，為建構全方位之地理資訊閱覽模式，BigGIS已整合上述兩種技術，將雙視窗搭配3D模式及Google街景連動，同時獲得2D平面地圖資訊、3D模型立體檢視以及街景影像定位，更透過鏈結三個視窗的方向資訊，將三個畫面即時連動旋轉朝向同一方向，以利使用者更能完整掌握空間資訊，如圖5所示。針對多樣向量圖資套疊需求於3D模式檢視，BigGIS也提供了區域型3D檢視模式，使用者可以先將關注區域的圖資匯入開啟、並點選3D地形建置功能，系統會先取得數值高程的資訊，結合套疊好的圖層影像，開啟獨立的區域型3D視窗，使用者可以自由縮放、旋轉、拖拉並調整地形顯示的倍率以及網格效果輔助檢視，未來將會進一步結合地質鑽探與地震資料，以地下3D的方式，將相關成果以更簡單視覺化的方式呈現。

### 三、BigGIS 應用實績

BigGIS 自系統上線以來，積極推動服務與強化各項功能，藉由建構便利的展示介面，整合豐富的圖資與多元分析工具，相關豐碩成果概述如下：

#### 2.5智慧雲端線上分析

為提升資料增值應用，BigGIS首創多個智慧化線上數化分析工具。透過每5天自動產出之全島Sentinel-2衛星影像資料，可提供單期影像裸露地自動辨識分析、兩期影像裸露地變異分析、常態化差異水體指標分析、植生指標分析、標準化燃燒指標分析等，如圖6所示，提供使用者初步的分析結果，其判釋與分析結果亦提供kml下載，以利後續增值應用。另外，BigGIS亦針對Sentinel-2衛星所提供的13個多光譜波段資料，讓使用者自行選

#### 3.1主題式推廣與自產底圖

鑒於莫拉克風災造成小林村大規模崩塌等複合型災害，水保局初步篩選出34處風險較高之大規模崩塌潛勢區。而為進行相關區域之展示說明，BigGIS率先針對新北石碇(大崙山)、新竹(梅花)、嘉義(幼葉林)、高雄(萬山)、臺東(紅葉村)等五處製作主題圖資，以利相關資訊快速展示。在此成果中，僅須點選BigGIS首頁畫面中之圖示按鈕，即可一鍵開啟預先設定之大規模崩塌潛勢區相關影像圖層，大幅降低圖資查找時間，並提高民眾使用意願。另外，配合水保局歷史文物檔案展相關活動，亦將臺灣第一處水土保持示範區之歷史規劃圖資與多元影像進行套疊，詳



實呈現土地隨時代演進之變遷歷史，並推廣水土保持工程實施成效，相關套疊圖如圖7所示。

而在底圖選擇上，BigGIS亦提供多元底圖可供切換，其預設為電子地圖(Google)，而其他底圖則分別為臺灣通用電子地圖、地調所地質圖、國土利用調查成果圖、農航所航照圖與相片基本圖等。另外，因傳統地形判釋易因判讀者之熟練性不同，導致判釋結

果不一致，此系統特別加入水保局應用6米與20米數值高程模型加值產出之H.O.S.T地圖(蕭宇伸，2017)及日本長野縣立林業研究中心所開發的CS地圖，提供更直覺之新型態地形呈現方式，以期使用者透過立體效果與加值底圖，在2D的平面上就能看出山脊、山谷等地形地貌特徵，甚至應用在對地質災害的地形特徵有更佳之辨識能力，相關加值底圖如圖8所示。

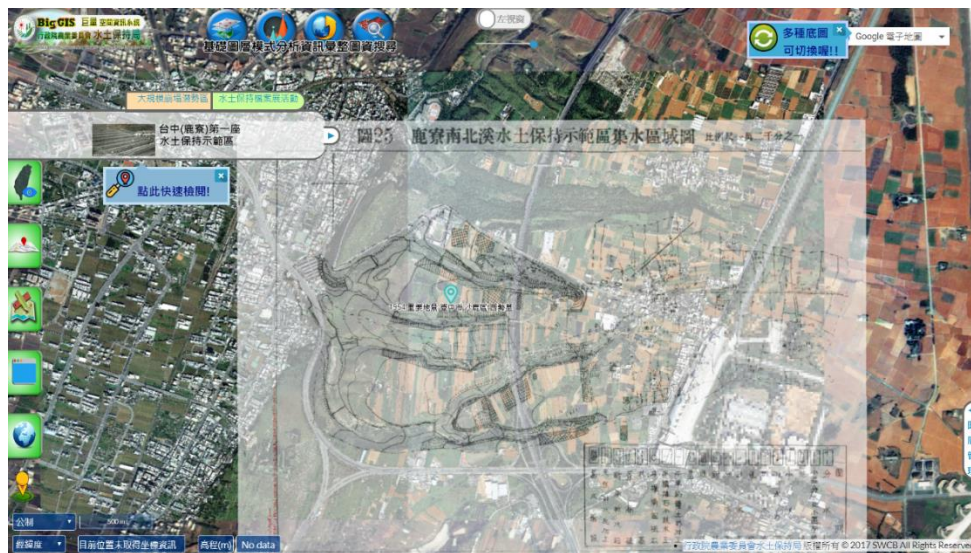


圖7 臺灣第一處水土保持示範區主題展示

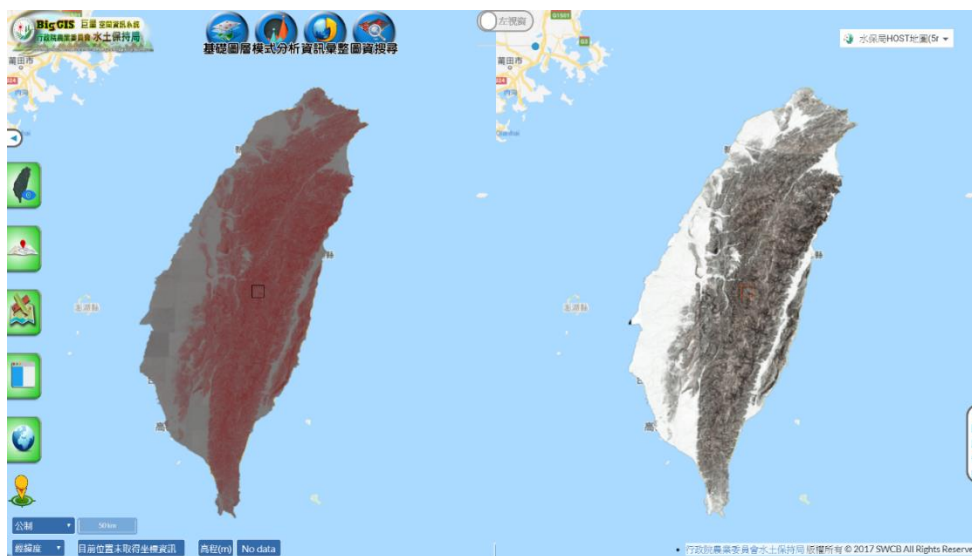


圖8 H.O.S.T地圖(左)及CS地圖(右)

## 3.2 災害輔助調查應用

因應颱風豪雨或地震災害時，需進行即時決策或災後災因判斷，BigGIS透過線上整合資源，輔助相關業務同仁。以災中應變為例，此系統將會在災害應變期間製作事件專屬資料夾，透過防災同仁蒐集的新聞災點資料，了解最新的災害分布與相關描述，可進一步透過地圖定位查找災害確切發生位置，並配合街景輔助定位或是路徑規劃找到最短路線，與系統上核心圖資進行套疊，輔助評估災害影響範圍，如圖9所示。另外，亦可搭配不同之地圖繪製及輔助工具，產製災害現況圖說，並使用線上數化分析工具，檢視災害前後影像差異與評估影響範圍，製作災後調查報告。

## 3.3 多元影像及圖資輔助業務執行

水保局為山坡地管理之中央業務主管機關，負責集水區與河川界點以上野溪之水土

保持調查、規劃、保育、治理及督導，在執行山坡地集水區整體治理調查規劃時，常需要蒐集多項基礎資料。例如在崩塌地判釋或是各單位權屬範圍釐清上，可透過BigGIS上完備的圖資資料庫快速獲知結果。同時藉由歷年衛星影像、航照、UAV空拍影像，亦可快速建立集水區歷年崩塌變化判釋。如圖10所示，在該範圍內可透過不同圖層套疊找到土石流潛勢溪流位置與資訊，釐清水保局與林務局之管理範圍，進一步透過整合式圖資搜尋工具，找到BigGIS資料庫中9期的空拍影像、1602張不同衛星之多時期影像，45張高解析航空照片，可再依據每一年村里、集水區、年度等資訊快速篩選所需圖資，大幅提升工作效能。

此外，在山坡地範圍劃定及檢討業務部份，水保局近年來已應用國內新建立之高精度數值地形資料，大幅提昇工作效率並提供更精準之成果，藉由BigGIS提供的2D及3D圖台來套疊圖資，更能輔助業務成果展示及



圖9 BigGIS於災害調查使用案例

說明。以水保局於2019年公告的山坡地範圍圖資為例，除了在BigGIS上展示平面的圖層範圍以外，還可以切換至區域3D展示引擎，讓使用者將圖層套疊於20m解析度的數值地形模型上檢視。如圖11，使用者可透過外部向量匯入工具，將2020年嘉義縣市山坡地範圍檢討圖資匯入，其中綠色區塊為預計更新

後之山坡地範圍，紅色區塊為預計劃出山坡地的部份。將此圖資展示於BigGIS之區域3D展示引擎時，其成果如圖12，可清楚呈現檢討後之山坡地範圍邊界精準地落在地形遷緩線上，有助於檢核成果並以視覺化方式對外說明。

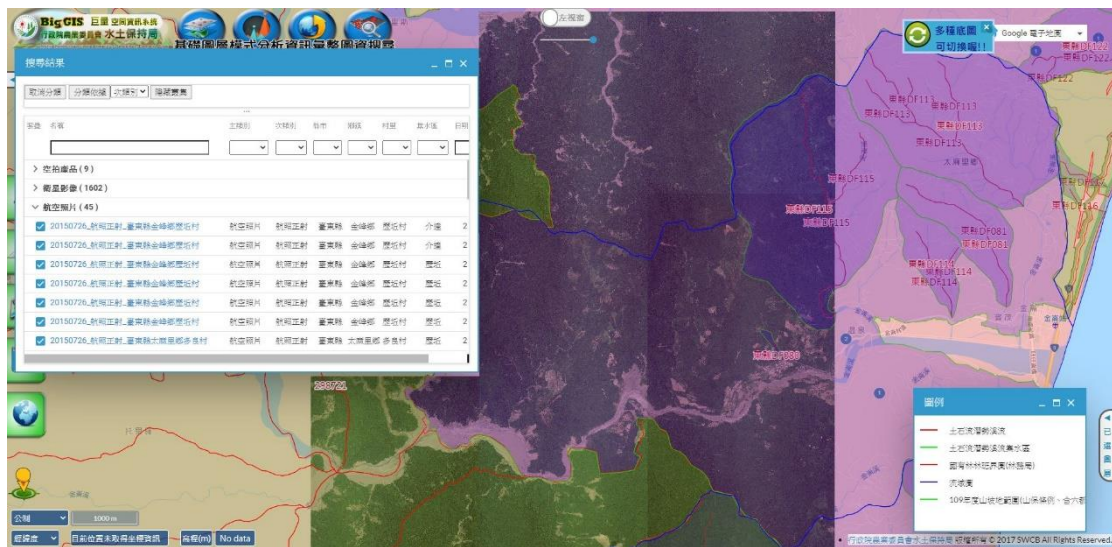


圖10 整合集水區調查業務圖資查詢示範

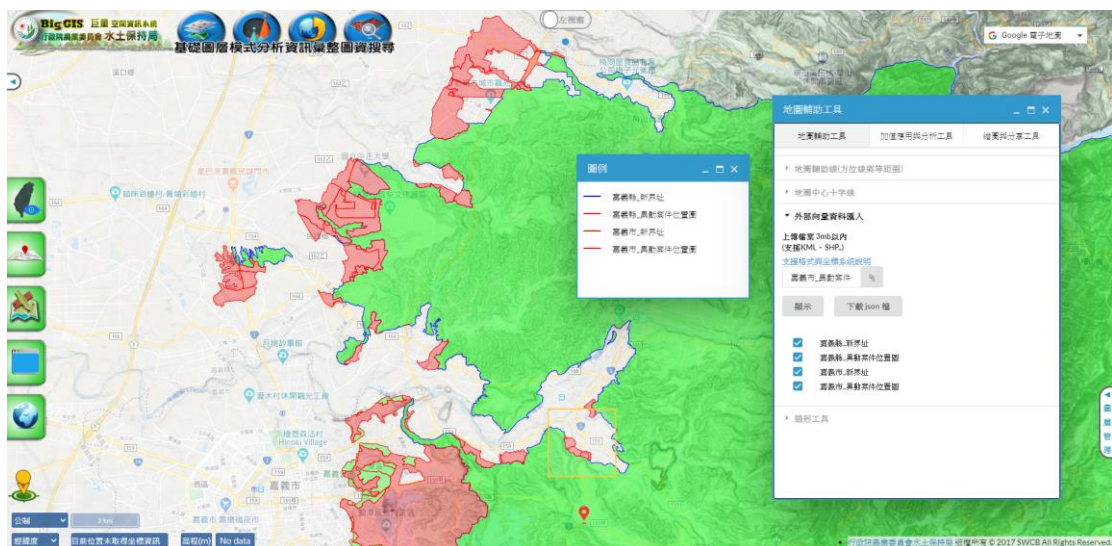


圖11 BigGIS展示嘉義縣市山坡地重劃圖資，紅色範圍為舊版山坡地範圍，綠色為新版山坡地範圍

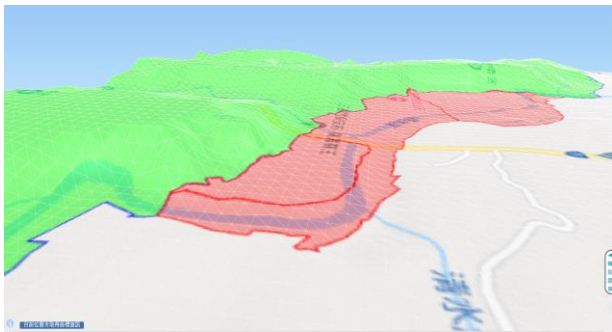


圖12 BigGIS的區域3D功能輔助山坡地範圍劃定成果展示

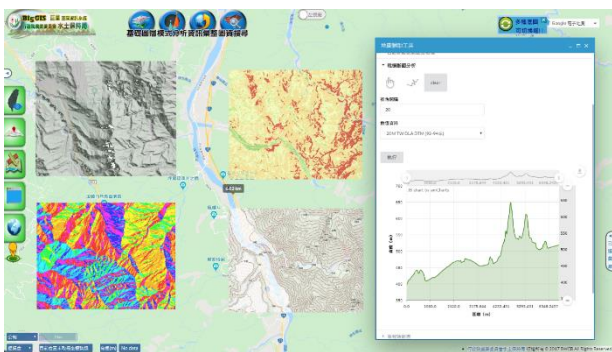


圖13 BigGIS介接地政司數值地形模型成果加值API服務

### 3.4機關協作，智慧共享

基於國發會開放資料政策及國際空間圖資與詮釋資料標準，BigGIS已建立圖資共享機制，除有助於減低異質性資料流通與應用之障礙，亦落實避免資源重複購置及加速資料流通之目標。因此，BigGIS不但已將各機關提供之資源整合運用，亦持續發布各項服務。例如，透過國土測繪中心和內政部地政司數值地形模型加值應用服務平台，串聯縱橫斷面分析、高程陰影圖、等高線計算、坡度坡向分析、地址模糊定位等多個API服務，結合BigGIS內建的豐富圖資，驅動更多加值應用成果，如圖13所示。使用者只需要圈繪分析範圍，系統會自動協助派送相關參數，即時產製成果，並提供下載服務。同時，水保局亦首創將UAV正射影像圖磚與災害事件衛星影像判識成果，以符合國發會共通性應

用程式介面規範之格式，製成Open API服務，強化系統圖資之流通與共享，未來將朝向開放更多資源與服務而努力，打造公私協力創新的地理資訊服務平台。

### 四、結語

水保局多年來已建置、蒐集、累積了具有空間屬性的巨量資料，是國家寶貴的資產，透過BigGIS建立影像圖資標準化作業流程，能夠迅速查找、檢視、套疊不同影像圖層，同時搭配多種輔助及分析工具，可完成各項服務需求。有別於一般的地理資訊系統，BigGIS開發了多項智慧化線上數化工具，並製作多張加值應用底圖，大幅節省專業地理圖資取得的成本，能夠讓使用者更專注在資料分析與應用上，係坡地防災及管理上之利器。BigGIS巨量資訊空間系統已有效地達成管理、展示、分析與共享之目標，未來將持續拓展更多服務面向，精進個人化主題管理，鏈結多方單位資源，創立新型態地理空間資訊系統的標竿。

### 參考資料

- 1.柯明勳(2018)，107年統合運用大規模崩塌防減災空間資訊計畫，行政院農業委員會水土保持局
- 2.柯明勳(2019)，108年巨量空間地理資訊平台維運計畫，行政院農業委員會水土保持局
- 3.Liu, C. C.(2020), "Adaptive Contrast Enhancement of Optical Imagery Based on Level of Detail (LOD)", Remote Sensing. 12. 1555. 10.3390/rs12101555.
- 4.蕭宇伸(2017)，以嶄新 3D 地形表現技術 (H.O.S.T.地圖)輔助地形判釋，行政院農業委員會水土保持局

## 109年3月3日 水土保持技術規範有關規劃設計修正重點說明

整理、補充：吳正義 技師

「水土保持技術規範」(后簡稱 本規範)於民國 85 年 8 月頒布實行迄今，共經歷 8 次修正，本次規範修正距最近一次修正至今已逾 6 年(103.09.12)，亦是近 15 年來最大幅度修正，共計修正達 39 條，增訂 1 條，刪除 5 條條文，並自 109.03.03 即日生效。本次修正係參考 106 年 12 月修正之「水土保持手冊」及產、官、學各界所提修正建議，主要有為因應管理實務需求、強化保育治規劃設計及提升水土持處理與維護品質、降低開發利用行為對環境所造成之衝擊等面向。本期刊特彙整本次規範修正內容中有關水土保持規劃設計修正重點，供水土保持從業人員熟稔修正後之相關規定與應用：

### 一、水文分析部分：

**雨量站、雨量資料之選定應納入地形雨及極端氣候考量。**重點說明如下：

- 1.應參考高程、坡向等地形條件，採就近符合計畫區降雨特性之氣象站資料。
- 2.納入極端降雨情形，提高估算之安全性，應以十五年以上之降雨資料進行推估降雨強度。

### 二、基地地質調查部分：

**依實務考量增訂危險順向坡，並修正地質鑽孔配置原則。**重點說明如下：

- 1.順向坡存在不必然有安全之疑慮，故增訂危險順向坡之定義；危險順向坡係除其坡面傾角具順向特性，仍須具自由端之特性，方稱為危險順向坡。
- 2.原地質調查規定每一基地應具至少一鑽探剖面，每一剖面至少三孔，鑑於面積較小之開發基地，鑽孔數較少，如仍需位於同一剖面，恐無法取得較完整之地質資料，爰增訂

但書規定，基地面積在0.5公頃以下者，每一剖面得調整為至少二孔，其餘調查孔可依基地現況條件，由承辦技師規劃佈置於適當處，以獲得較完整地質調查資料，提高地質調查效益。

### 三、植生工程部分：

**增訂植生調查樣區數量規定及修訂植生工程檢查合格標準。**重點說明如下：

- 1.原植生調查規定因無基本調查樣區數規定，致基地面積較大時樣區數量恐有不足致無法瞭解區域植生全貌，爰增訂植生調查樣區數量規定，按基地面積大小計算植生調查之樣區數量，並要求須均勻分布於計畫區內及周邊。
- 2.依實務經驗，一般土質坡面噴植或水土保持植生施工後覆蓋率達百分之八十、地被植物栽植施工後覆蓋率達百分之七十及苗木栽植成活率達百分之八十者，實務上經持續之維護管理後，其覆蓋率通常分別可達到修正前條文之規定，爰酌降各植物種



類之植生工程檢查合格覆蓋率，並增訂經完工檢查後仍應加強維護管理規定。

## 四、邊坡穩定分析部分：

增訂邊坡穩定分析不同階段最小安全係數，且進行分析時應提供完整地質調查資料及各層力學參數。重點說明如下：

- 1.除修訂地震、暴雨狀態下之邊坡穩定分析最小安全係數外；另考量邊坡工程於永久性及臨時性階段，應有不同安全標準，爰增訂進行永久性及臨時性邊坡穩定分析時，應達之最小安全係數標準。
- 2.為瞭解邊坡穩定分析是否掌握地質特性及力學參數之選定是否適當！增訂邊坡穩定分析應提供完整地質調查資料(含分析剖面)及各層力學參數。

## 五、坡地排水設施規劃設計部分：

增訂排水設施最小容許流速之規定，以防泥砂淤積。重點說明如下：

增訂混凝土或鋼筋混凝土排水設施最小容許流速為 0.8 m/s，其它溝面材質排水設施(如草溝、砌石溝...)之最小容許流速則尚無明訂。

註：參考相關排水設施設計規範，筆者初步建議其它溝面材質排水設施最小容許流速不小於0.2~ 0.3 m/s為宜。

## 六、沉砂及滯洪設施規劃設計部分：

修訂沉砂設施與滯洪設施之規劃設計原則。重點說明如下：

- 1.為符實務(際)，開發基地之泥砂生產量之估

算(得)可扣除基地範圍內未涉開挖整地及已為不透水建物鋪面之泥砂生產量。

- 2.永久性沉砂池容量以泥砂生產量計算，無須加乘1.5倍安全係數，但每公頃仍不得小於30立方公尺；臨時性沉砂池容量應以1.5倍安全係數計算泥砂生產量，但每公頃仍不得小於250立方公尺。
- 3.鼓勵山坡地開發宜採低衝擊開發(LID)概念，增訂得考量基地之土地利用、建蔽率、鋪面情形等，調整酌減滯洪量體。

註1：本次修正後山坡地開發利用行為若採低衝擊開發方式將得酌減之滯洪量體，惟尚未具體說明操作方式及酌減之滯洪量體標準！筆者初步建議可朝低衝擊開發多有考量採用增加入滲、延遲洪峰之透水設施，故可適度調降逕流係數C值以檢算滯洪量體，並依個案審查機制決定之。

註2：低衝擊開發(LID)為加拿大和美國使用為之名詞，描述利用土地規劃和工程設計的方法來管理雨水逕流。概念上是以分散式、小規模的就源處理設計，通過滲透、過濾、貯存、蒸發及延遲逕流工程設計並結合都市土地規劃、景觀等面向，以達成改善水質、減少暴雨逕流量之目標，係新近之「暴雨管理概念」。

- 4.原規定滯洪及沉砂設施均應規劃設置於開發基地內，考量開發基地已完成整體開發之水土保持計畫，於基地範圍內之個別開發行為，倘其逕流及土砂可有效排放至整體開發所設置之滯洪及沉砂設施，且經檢討其量體，仍足以承容個別開發所增加之泥砂生產量及逕流量，尚無再於個別開發基地內重覆設置之必要，故修正為滯洪及沉砂設施以設置於開發基地內為原則。

5. 考量排放安全及後續管理維護，滯洪設施應以重力排放為原則，惟因基地與周邊地形等因素，無法採重力排放者，得採機械動力抽排，並應訂定相關維護管理機制。
6. 滯洪設施出水口之攔污設施，原規定為弧形，考量攔污效率，修正為半球型。
7. 滯洪容量納入「總量管制」概念。將因受自然或人為集水區分區、構造物阻隔等影響，無法流入滯洪設施之量體，納入基地內鄰近滯洪設施之滯洪量計算；惟原則上僅適用於基地內未開發區域，屬基地內已開發區仍應儘可能設置滯洪設施。

註：關於「總量管制」之操作與檢算方式，實務上多有以基地內滯洪設施之總量體管制及出流量管制等處理方式，惟依本規範第95條修正後規定，所謂「總量管制」除應符合本條第一項第八款規定，將因受自然或人為集水區分區、構造物阻隔等影響，無法流入滯洪設施之量體，納入基地內鄰近滯洪設施之滯洪量計算外，仍應符合同項三款規定：...基地開發後之出流洪峰流量不應超過下游排水系統之容許排洪量；以及同項四款規定：...滯洪設施對外排放之洪峰流量，不得超過開發前之洪峰流量，則開發基地如有未能及時納入滯洪設施之集水區分區洪峰流量，因其未經調節已先排入下游排水系統，故應適當檢算縮減出水口出流量，仍應使得考量全區滯洪後之對外排放量不致超過下游排水系統之容許排洪量。

8. 增訂湖泊、水庫蓄水範圍及路寬4公尺以下之其他道路(非屬鐵路、公路、農路者，如步道、棧道、作業道等)得免設滯洪設施之規定。

## 七、擋土設施安全檢算部分：

修訂擋土牆滑動、傾倒及基礎承载力等牆體穩定性安全檢算之安全係數規定。重點說明如下：

1. 滑動安全檢算：常時安全係數 $FS \geq 1.5$ ；地震時安全係數 $FS \geq 1.2$ 。
2. 傾倒安全檢算：常時安全係數 $FS \geq 2.0$ ；地震時安全係數 $FS \geq 1.5$ 。
3. 基礎載重之應力必須在土壤(基礎地層)容許承载力之內，其安全係數 $FS \geq 3.0$ 。

## 八、建築用地及農漁牧用地開發利用之挖方總量限制部分：

修訂開發利用申請時挖方總量管制之計算方式。重點說明如下：

1. 開發建築用地：考量原規定各次不同申請之挖方總量計算方式，實務執行存有爭議，爰修訂該次開挖整地之挖方總量不得超過其申請總面積乘以每公頃15,000立方公尺。
2. 農漁牧用地開發利用：同1 開發建築用地，修訂該次開挖整地之挖方總量不得超過其申請總面積乘以每公頃7,500立方公尺。



**表 1 109 年 03 月 03 日水土保持技術規範有關規劃設計修正條文簡表**

修正條文	所涉及規劃設計項目	修正重點
第16條	水文調查	雨量站、雨量資料之選定應納入地形雨及極端氣候考量。
第31、32條	基地地質調查	依實務考量增訂危險順向坡，並修正地質鑽孔配置原則。
第41、61條	植生工程	增訂植生調查樣區數量規定及修訂植生工程檢查合格標準。
第73、152條	邊坡穩定分析	增訂邊坡穩定分析不同階段之最小安全係數(FS)及進行分析時應提供完整地質調查資料(含分析剖面)及各層力學參數。
第85條	坡地排水設施規劃設計	增訂最小容許流速之規定，以防泥砂淤積，混凝土或鋼筋混凝土排水設施最小容許流速為0.8m/s。
第92、93、94、95、95-1、165、166條	沉砂及滯洪設施規劃設計	修訂沉砂及滯洪設施相關規劃設計規範，包括泥砂生產量之估算方式、引入「低衝擊開發(LID)」概念、攔污設施應為半球型、納入「總量管制」概念、增訂得免設滯洪設施之開發行為規定及其他設置與維護規範等。
第120條	擋土設施安全檢算	修訂擋土牆滑動、傾倒及基礎承载力等牆體穩定性安全檢算之安全係數規定。
第170、198條	建築用地及農漁牧用地開發利用之挖方總量限制	修訂開發利用申請時挖方總量管制之計算方式，採該次申請挖方總量規定。

### 參考資料：

- 1.水土保持技術規範、水土保持技術規範修正案總說明，109年03月。
- 2.水土保持手冊，106年12月。
- 3.水環境低衝擊開發設施操作手冊，104年12月。
- 4.市區道路及附屬工程設計規範，104年7月。





★109年4月22日臺灣省水土保持技師公會至桃園市政府工務局拜訪陳聖義副局長



陳聖義副局長與陳智誠理事長合照



拜訪陳聖義副局長大合照

★109年4月27日全聯會至水土保持技師公會專訪鄭麗瓊前理事長



專訪後合照 1



專訪後合照 2

## 「水土保持」文稿稿約

本期刊為社團法人中華民國水土保持技師公會全國聯合會發行之季刊，為行政院公共工程委員會95年2月20日工程企字第09500060870號函公告為「國內外專業期刊」。本刊成立之宗旨以提升國內水土保持技術水準，並提供國內外水土保持及相關領域在學術研究及技術應用上具有公信力之發表及交流園地。為貫徹本刊可讀性與風格，並確保刊出文稿內容之嚴謹與完整，謹訂定以下稿約：

- 一、本刊接受之文稿，包含有關於水土保持技術之學術論文與技術論文，需未經發表之論文、工程案例分析、報導文字或新型之工法、材料、分析模式等之介紹，或曾於研討會發表，但經增補或改寫內容之論文。或者其他符合本刊宗旨之文字。
- 二、每篇論文或報導之長度，以不超過10印刷頁（約15000字）為原則。
- 三、稿件以中文或英文撰寫均可，書寫範圍統一使用A4稿紙(21×29.5 cm)橫寫。
- 四、文稿之技術性名詞應使用通行之譯名。非經常性使用之技術名詞須加註該名詞之原文，以免誤解。
- 五、任何一篇文稿應包括以下幾個部份：
  1. 標題（中、英文），以簡明為原則。
  2. 作者真實姓名及服務機關或單位（中、英文並列）。
  3. 關鍵詞（2至4個）及不超過250字之單一段中英文摘要。
  4. 文稿之主體，其第一段必須是「前言」、「引言」、「緣起」、「簡介」等等，最後一段必須是「結論」或「結論與建議」。內容應具條理分明之段落，並冠以適當之子標題，其編號階層以3級為原則，如：
    - 一、章節
      - 1.1 小節
        - 1.1.1 小小節
  5. 後記或致謝（無則免）。
  6. 參考文獻。
- 六、文稿如有列舉事項，請依層次使用1、2、...；(1)、(2)、...；(a)、(b)、...；(i)、(ii)、...等編號。公式請以方程式編輯器編輯，其符號應於第一次出現時予以定義。公式應以(1)、(2)、(3)、...等統一編號，引用時以公式(1)、公式(2)...繕寫之。
- 七、文稿之圖片及表格需提供 Microsoft Office Word 可編輯之檔案，可為向量檔或高解析度點陣檔，若過於模糊請自行數化。圖片及表格應予編號命名，編號方式為表1、圖1等，其所述內容應全篇一致。圖表下方需標註資料來源，可對應參考文獻或本研究成果。
- 八、參考文獻依文稿引用次序予以編號，如[1]、[2]...，未引用之文獻則不可列入。參考文獻內容應依序為：作者姓名、年代、文獻標題、期刊或書名，刊載卷號期數、發行地點等，舉例如下：
  - [1]陳昶憲、雷祖強、許汎穎、郭怡君(2004)，「未設測站日流量預測」，中華水土保持學報，第35卷，第2期，第119-129頁。
  - [2]種田行男(1955)，「農地保全」，理工圖書，東京。
  - [3]Delhomme, J. P. (1979), "Kriging in the Design of Streamflow Sampling Networks", WRR, Vol.15, No.6, pp.1833-1840.
  - [4]Goovaerts, P. (1997), "Geostatistics for natural resources evaluation", Oxford University Press, pp.181-182.
- 九、文稿若有侵害他人之著作權、專利權、智慧財產權或商業機密者，概由作者自行負責，與本刊無涉。
- 十、投稿本刊之文稿，均由學者專家依主旨從嚴審核以決定是否採用。未盡之處將於審查過程補充。

來稿請以電子郵件方式寄至 [swcpea@seed.net.tw](mailto:swcpea@seed.net.tw)，聯絡電話：02-82581918洽曾文萱小姐。