

台灣南部降雨量與降雨沖蝕指數之時空變化

Temporal and Spatial Variations of Rainfall and Rainfall Erosivity in Southern Taiwan

國立屏東科技大學
水土保持系
副教授

李明熹*

Ming-His Lee

國立屏東科技大學
水土保持系
碩士班研究生

廖怡雯

Yi-Wen Liao

國立屏東科技大學
水土保持系
碩士班研究生

徐千筑

Chien-Chu Hsu

摘要

近年來極端降雨事件發生頻繁，台灣南部之降雨特性有降雨集中與降雨強度增加的趨勢，一旦降雨特性改變，降雨沖蝕指數(R)即隨之變化，進而影響土壤沖蝕量，因此，重新修訂降雨沖蝕指數以符合現今氣候狀況乃刻不容緩。本研究為瞭解降雨特性的改變對降雨沖蝕指數之影響，根據台灣南部區域(台南市、高雄市及屏東縣)95個中央氣象局雨量站 14 年(2002~2015)10 分鐘雨量資料及 1993 年至 2001 年之 60 分鐘等間隔降雨資料，分析各雨量站的有效降雨事件之降雨特性變化，建立降雨量與降雨沖蝕指數之關係式，並探討其時間及空間變化。有效降雨事件之降雨特性分析結果顯示，單場最大降雨量發生於 2009 年莫拉克颱風期間，約佔全部雨量站之 66% (63 個雨量站)；最大年降雨沖蝕指數範圍約介於 24,822~168,715 MJ-mm/ha-hr-yr 之間，最大值與最小值分別為台南七股寮及高雄旗津雨量站。時間變化分析結果顯示，月平均降雨量(P_m)及月平均降雨沖蝕指數(R_m)於 9 及 11 月份有逐年上升之趨勢；季平均降雨量(P_s)及季平均降雨沖蝕指數(R_s)於夏、秋及冬季有逐年上升之趨勢；年平均降雨量(P_y)及年平均降雨沖蝕指數(R_y)均為逐年上升之趨勢。空間變化分析結果顯示，月、季及年降雨沖蝕指數大致上由西或西南部向東或東北部遞增，且最大 R_y 有逐年增加之趨勢，其最大值發生位置有往北移動之趨勢。

關鍵詞：降雨沖蝕指數、時間變化、空間變化。

ABSTRACT

In recently years, trend of the rainfall characteristics have gradually changed due to extremely heavy rainfall event in the world. Rainfall is the major cause of soil erosion

*通訊作者，國立屏東科技大學水土保持系副教授，91201 屏東縣內鄉學府路 1 號，mhlee@mail.npust.edu.tw

dynamic factor. The purpose of the present study is estimating the rainfall erosivity based on event, monthly, seasonal and annual precipitation data, respectively. Temporal and spatial variations of rainfall and rainfall erosivity are investigated using a dataset monitored by 95 rainfall stations in southern Taiwan. The results show that there are 70% of all rainfall erosivity stations that the individual maximum rainfall amount occurred during typhoon Morakot, 2009. The maximum annual rainfall erosivity varied from 24,822 to 168,715 MJ-mm/ha-hr-yr. Temporal variation of rainfall and rainfall erosivity shows that the average monthly rainfall and rainfall erosivity increase yearly in September and November. The average seasonal rainfall and rainfall erosivity increase yearly in summer, autumn, and winter. The average annual rainfall and rainfall erosivity increase yearly. The spatial analysis shows average monthly, seasonal and annual rainfall erosivity increase from west to east or southwest to northeast. The results of this study can serve as a helpful reference for relevant institutes and departments.

Keywords: Rainfall erosivity, Temporal variation, Spatial variation.

一、前 言

政府間氣候變化專門委員會(2014)於發表的氣候變化綜合報告指出,極端事件造成的氣候變化風險已經提高為中等(高信度),且風險會隨著氣候變暖而逐步加大。Lau and Wu (2007)研究討論了降雨特性的長期變化與趨勢,顯示過去數十年來全球的強降雨量隨溫度上升而增加,而中、低強度降雨則減少。根據王其美等(2012)指出台灣南部之降雨特性有降雨集中與降雨強度增加的趨勢,且乾濕季的差別更為分明。綜合上述,氣候變遷的影響可以改變地區的降雨模式,且由 Shiono *et al.* (2013)、Mondal *et al.* (2016)等研究均指出一旦降雨特性改變,亦會增加雨滴分離和攜帶土壤顆粒的能力,降雨沖蝕指數即隨之變化,進而影響土壤沖蝕量,因此,重新修訂降雨沖蝕指數(R)以符合現今氣候狀況乃刻不容緩。

降雨量與降雨沖蝕指數之相關研究方面, Nuno and Miguel (2001)利用月降雨量資料推估月降雨沖蝕指數公式,發現月降雨量與月降雨沖蝕指數呈線性關係及乘冪關係。Hoyos *et al.* (2005)發現季降雨量與季降雨沖蝕指數呈乘冪關係。國內眾多學者黃俊德(1979)、盧光輝(1999)、

盧昭堯等人(2005)、蘇志強(2016)利用歷年之降雨紀錄,建立台灣地區年降雨沖蝕指數,其年降雨量與年降雨沖蝕指數多以乘冪關係為主。李明熹(2014)蒐集隘寮溪集水區內6個雨量站2002-2011年10分鐘等間隔的降雨資料,建立日、月及年之降雨量與降雨沖蝕指數關係式,利用 RMSE、MAPE 及 Bias 等誤差分析方法,評估三種降雨沖蝕指數推估關係式之適用性。

降雨量與降雨沖蝕指數時間變化研究方面,范正成等人(2009)蒐集台北氣象站1961~2007年之歷年雨量資料,利用5年及20年移動平均法進行歷年年降雨沖蝕指數時間變化分析,發現台北地區近10年的年降雨沖蝕指數隨時間增加呈現大幅上升的趨勢,且各階段年降雨沖蝕指數的變異性亦顯著增加。楊斯堯等人(2010)蒐集曾文水庫集水區內6個雨量站1987~2002年之10分鐘雨量資料及時雨量資料,利用5年移動平均法探討集水區內各雨量站之歷年年降雨沖蝕指數趨勢變異分析,研究結果顯示曾文水庫集水區之降雨沖蝕指數有顯著增大之趨勢。Fiener *et al.* (2013)蒐集歐洲中部1973~2007年,共71年10個雨量站之5分鐘雨量資料,彙整後採用線性迴歸和 Mann-Kendall 檢定進行分析其長期趨勢,結

果顯示長達 71 年的夏季降雨沖蝕指數於 1973~2007 年期間略有增加。

降雨量與降雨沖蝕指數空間變化研究方面，章文波等人(2003)以中國為研究區域，利用區域內 546 個測站 1971~1998 年逐日降雨資料估算降雨沖蝕指數，分析中國降雨沖蝕指數空間變化特徵，結果顯示，降雨沖蝕指數與降雨量空間變化大致相符，但是降雨沖蝕指數受到降雨量與降雨強度之影響下，因此兩者之間存在著差異性。Salako (2010)以西非奈及利亞為研究區域，蒐集區域內 17 個位置之雨量資料，其年限介於 10~33 年之間不等，利用最大 30 分鐘降雨強度(I_{30})與最大 15 分鐘降雨強度(I_{15})估算降雨沖蝕指數，並進一步發展月及年降雨沖蝕指數之等值線圖。李明熹等人(2015)利用蘭陽溪集水區內 12 個雨量站 2002~2012 年的 10 分鐘雨量資料，建立該集水區之月、季及年降雨量及降雨沖蝕指數關係式，並利用地理資訊系統 Topo to Raster 模組繪製蘭陽溪集水區年平均降雨量及降雨沖蝕指數等值圖，結果顯示年平均降雨量與年平均降雨沖蝕指數的變化趨勢大致相似，均以東南方的古魯與太平山雨量站為最高。

台灣地區目前所使用的降雨沖蝕指數主要依據黃俊德(1979)沿用 Wischmeier 及 Smith 的降雨動能公式，以 8 處測候所 20 年的日卷自記雨量記錄紙為基礎，並以全台灣 200 個雨量站的月雨量資料為輔，所訂定之降雨沖蝕指數，而盧光輝(1999)、盧昭堯等人(2005)與蘇志強等人(2016)也針對台灣年降雨沖蝕指數進行修訂，發現年降雨沖蝕指數有隨著極端降雨事件增加而變大。綜合上述學者的研究成果發現，有效降雨事件分析，主要是以 8~10 個代表測站(氣象站或雨量站)之降雨記錄紙進行判釋，降雨沖蝕指數與降雨量關係式，亦是依據此 8~10 個代表測站進行全台氣候分區推估，本研究採用自計式雨量資料，蒐集南部地區 95 個中央氣象局 10 分鐘等間隔降雨資料(2002~2015 年)，首先分析 95 個雨量站共 36,045 場有效降雨事件之降雨特性，建立降雨沖蝕指數與降雨量之日、月、年關係式，並探討其時間及空間變化。

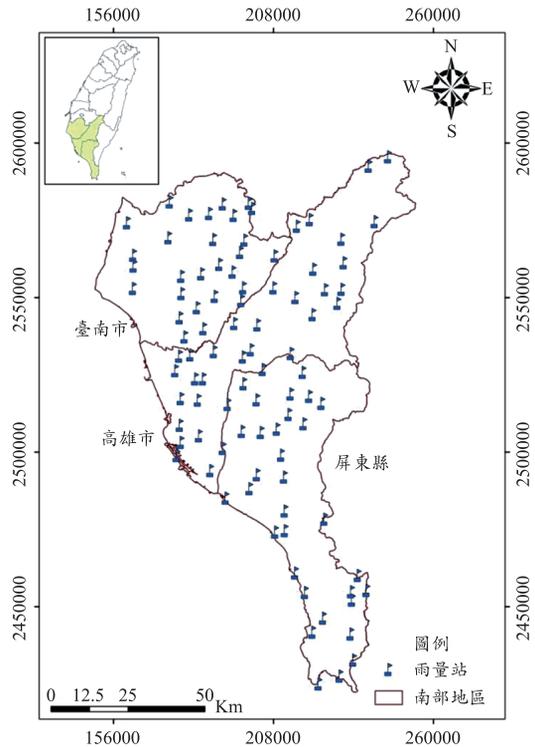


圖 1 台灣南部地區 95 個中央氣象局雨量站分布位置。

二、材料與方法

2.1 研究區域

本研究蒐集台灣南部區域(台南市、高雄市及屏東縣)內共 95 個中央氣象局雨量站資料，雨量站分布位置及基本資料分別如圖 1 及附錄一所示。利用 95 個雨量站之 2002 年至 2015 年 10 分鐘等間隔降雨資料及 1993 年至 2001 年 60 分鐘等間隔降雨資料，作為後續各項分析之參考依據。

2.2 研究方法

本研究利用 2002 年至 2015 年之 10 分鐘等間隔降雨資料，經有效雨場判定後計算月、季及年降雨沖蝕指數，建立降雨量及降雨沖蝕指數之關係式，再將 1993 年至 2001 年之 60 分鐘等間隔降雨資料代入降雨量及降雨沖蝕指數之關係

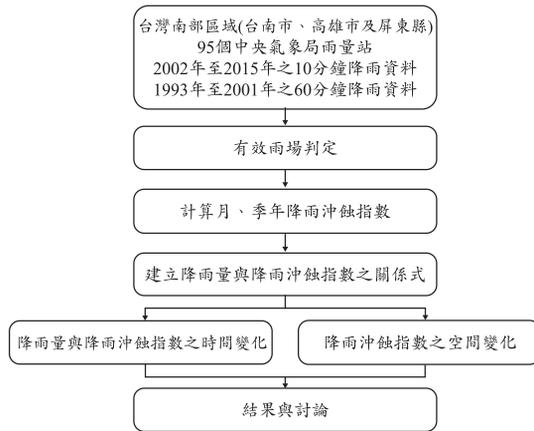


圖 2 研究流程。

式，推估月、季及年降雨沖蝕指數，進行時間與空間變化之分析。研究流程圖如圖 2 所示，其分析過程詳述如下：

2.2.1 有效雨場判定

蒐集區域內 95 個雨量站 2002 年至 2015 年之 10 分鐘等間隔降雨資料，依據 Wischmeier and Smith(1958)所提出之定義為依據，進行單場有效降雨事件之分析，其定義如下所示：

- (1) 單場降雨之累積降雨量須超過 12.7 mm，且該場降雨與前場降雨需間隔超過 6 小時以上，則視為一場有效降雨事件。
- (2) 降雨若低於 12.7 mm，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定義判定後所篩選出之單場有效降雨，計算出降雨強度，並使用 Wischmeier and Smith 依據 Laws 及 Parson 於 1943 年對自然降雨實測資料推導而成之每公頃單位降雨量之降雨動能公式，如公式(1)及(2)所示，得出單場降雨的總動能。

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

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

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)。

而單場降雨的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，如公式(3)所示。

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

其中， R_j 為第 j 場降雨的降雨沖蝕指數； $E_{ji}(=e_i P_{ji})$ 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_i 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。

依據有效降雨場次分割資料，本研究計算出每一場有效降雨的降雨沖蝕指數，而吳嘉俊等人(1996)指出降雨沖蝕指數是可以累加的，因此分別累加後得出月、季及年降雨沖蝕指數，其公式如(4)~(6)所示。

$$R_m = \sum_{j=1}^M R_j \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_s = \sum_{j=1}^S R_j \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$R_y = \sum_{j=1}^Y R_j \quad \dots\dots\dots (6)$$

R_j 為第 j 場降雨之單場降雨沖蝕指數； R_m 為整月的單場降雨沖蝕指數累加； 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。

2.2.3 建立降雨量與降雨沖蝕指數之關係式

本研究分別將降雨量(月、季及年)與上述累加後的降雨沖蝕指數(月、季及年)建立迴歸公式，其公式如(7)~(9)所示，分析出降雨量與降雨沖蝕指數之關係式。

$$R_m = a P_m^b \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_s = a P_s^b \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$R_y = a P_y^b \quad \dots\dots\dots (9)$$

其中， a 和 b 為待定係數； R_m 為月平均降雨沖蝕指數； P_m 為月平均降雨量； R_s 為季平均降雨沖蝕指數； P_s 為季平均降雨量； R_y 為年平均降雨沖蝕指數； P_y 為年平均降雨量。

2.2.4 降雨量與降雨沖蝕指數之時間變化

將 1993 年至 2001 年之 60 分鐘等間隔降雨資料代入前述所建立的不同時間單位(月、季及年)之降雨量與降雨沖蝕指數關係式，推估 1993 年至 2001 年之月、季及年降雨沖蝕指數，再與 2002 年至 2015 年之 10 分鐘等間隔降雨資料計算之降雨沖蝕指數，以 5 年移動平均法分析降雨量與降雨沖蝕指數近 23 年之時間變化趨勢，藉此瞭解近年來在氣候變遷下，研究區域之降雨量與降雨沖蝕指數隨時間的變化情形。

2.2.5 降雨沖蝕指數之空間變化

本研究為瞭解台灣南部地區降雨沖蝕指數空間分布，使用 ESRI 公司開發之地理資訊系統軟體 ArcMAP 10.2，利用其中的 Topo to Raster 模組繪製 2002 年至 2015 年之 10 分鐘等間隔降雨資料所計算之不同時間單位(月、季及年)降雨沖蝕指數空間分布圖，探討降雨沖蝕指數之空間變化，最後將本研究之年平均降雨沖蝕指數空間分布圖與前人研究進行比對。

三、結果與討論

3.1 降雨特性分析

本研究分析 2002 年至 2015 年 10 分鐘等間隔降雨資料，其有效降雨事件共計 36,045 場，各雨量站有效降雨事件之極端值特性分析結果如附錄二，由附錄二可以得知：

- (1) 單場有效降雨事件介於 110~649 場之間，平均約為 379 場，其中最大值發生於台南大棟山雨量站，最小值則在高雄新集雨量站。
- (2) 單場最大降雨量範圍介於 320~2,970 mm 之間，平均約為 1,236 mm (標準差為 577 mm)，最大值發生於 2009 年莫拉克颱風期間的高雄御油山雨量站，另發現單場最大降雨量皆發生於 2009 年莫拉克颱風期間，約佔全部雨量站之 66% (63 個雨量站)。
- (3) 單場最大降雨延時範圍約介於 75~244 hr (約 3~10 天)，平均約為 131 hr (標準差為 30 hr)，最大值出現在屏東新園雨量站，最

小值在高雄旗津雨量站。

- (4) 單場最大降雨動能與單場最大降雨沖蝕指數範圍分別介於 73~780 MJ/ha 及 7,721~107,675 MJ-mm/ha-hr，其平均各為 306 MJ/ha (標準差為 153 MJ/ha) 及 35,580 MJ-mm/ha-hr (標準差為 19,483 MJ-mm/ha-hr)，最大值出現在莫拉克颱風期間的高雄尾寮山雨量站，最小值出現在高雄旗津雨量站。
- (5) 最大年降雨沖蝕指數範圍約介於 24,822~168,715 MJ-mm/ha-hr-yr 之間，平均約為 61,895 MJ-mm/ha-hr-yr，最大值為台南七股寮雨量站，最小值為高雄旗津雨量站。

綜觀上述有效降雨事件特性分析結果，以 2009 年莫拉克颱風影響台灣南部地區的降雨量及降雨沖蝕指數最為明顯。

3.2 月、季及年降雨量與降雨沖蝕指數時間變化趨勢

本研究蒐集台灣南部地區 95 個雨量站之降雨量資料，探討台灣南部地區近年各月、季及年降雨量與降雨沖蝕指數時間變化趨勢，結果說明如下：

- (1) 月平均降雨量與降雨沖蝕指數之時間變化

為瞭解台灣南部地區近 23 年各月平均之降雨量(P_m)與降雨沖蝕指數(R_m)時間變化，於月平均降雨沖蝕指數部分，本研究首先將 1993~2001 年台灣南部地區中 95 個雨量站各月降雨量加以平均，得每月之月平均降雨量，代入 2002~2015 年各月平均之降雨量與降雨沖蝕指數迴歸關係式(如表 1 所示)，推估 1993~2001 年之各 R_m ，最後再將 1993~2015 年各 R_m 點繪於圖 3 及圖 4。Y 軸左側為每月之 R_m ，Y 軸右側為每月之 P_m ，X 軸為各年份。圖中紅色實線及紅色虛線分別代表每月之 R_m 趨勢線及 5 年移動平均線；藍色實線及藍色虛線分別代表每月之 P_m 趨勢線及 5 年移動平均線。由圖中可看出在台灣南部地區近 23 年(1993~2015 年) P_m 及 R_m 時間變化趨勢，其中在

表 1 台灣南部地區月平均降雨量與月平均降雨沖蝕指數之迴歸關係式分析結果

月份	迴歸關係式	判定係數(r^2)	個數(N)
1月	$R_m = 2.18 P_m^{1.04}$	0.74**	95
2月	$R_m = 3.98 P_m^{1.00}$	0.64**	95
3月	$R_m = 5.14 P_m^{1.00}$	0.69**	95
4月	$R_m = 16.61 P_m^{0.80}$	0.52**	95
5月	$R_m = 2.64 P_m^{1.26}$	0.72**	95
6月	$R_m = 0.70 P_m^{1.48}$	0.65**	95
7月	$R_m = 1.25 P_m^{1.40}$	0.90**	95
8月	$R_m = 2.68 P_m^{1.28}$	0.80**	95
9月	$R_m = 3.89 P_m^{1.20}$	0.79**	95
10月	$R_m = 1.42 P_m^{1.43}$	0.93**	95
11月	$R_m = 0.95 P_m^{1.45}$	0.56**	95
12月	$R_m = 2.43 P_m^{1.34}$	0.74**	95

註：**表示顯著水準 $\alpha < 0.01$ 。

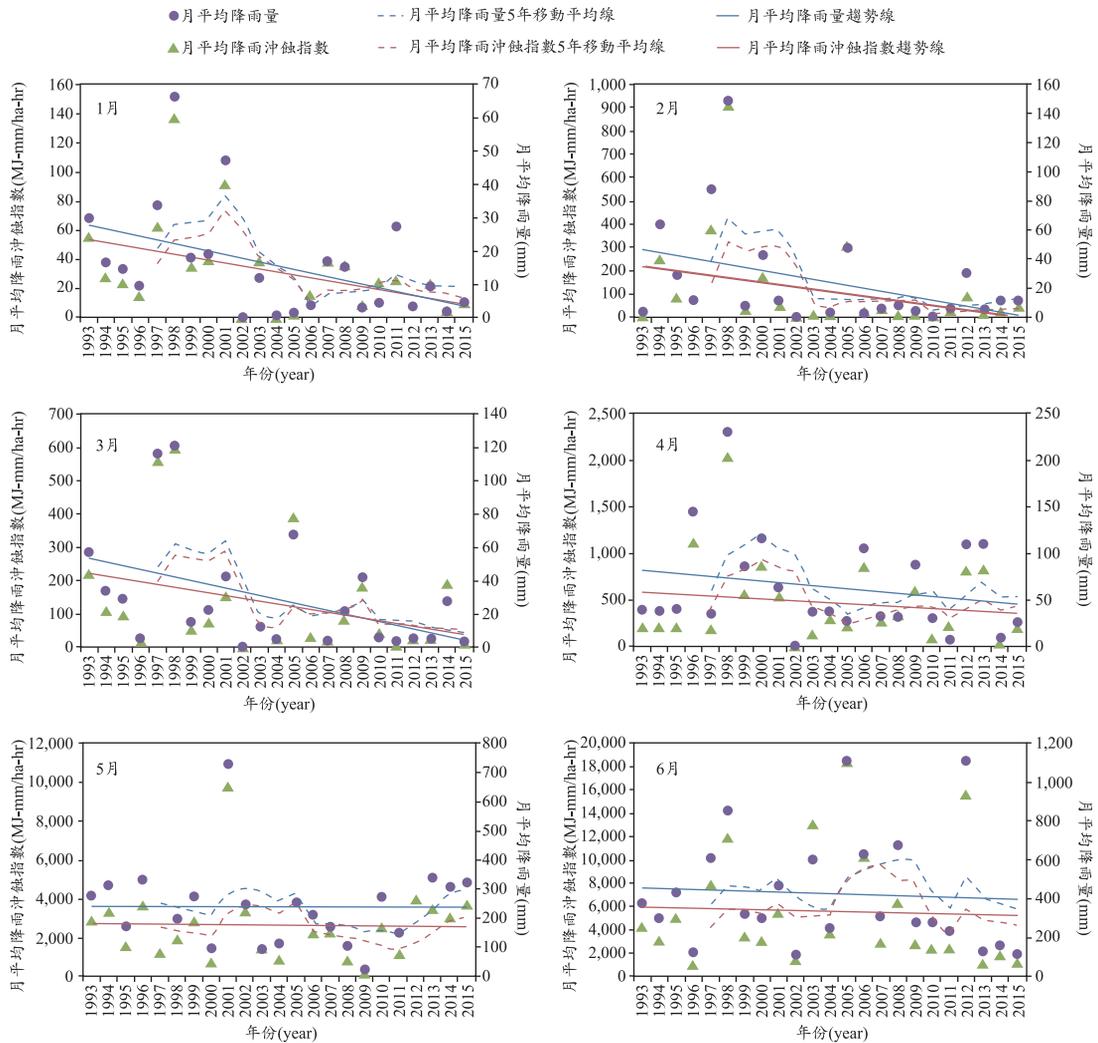


圖 3 台灣南部地區 23 年(1993~2015 年)1~6 月之月平均降雨量與月平均降雨沖蝕指數之時間變化趨勢。

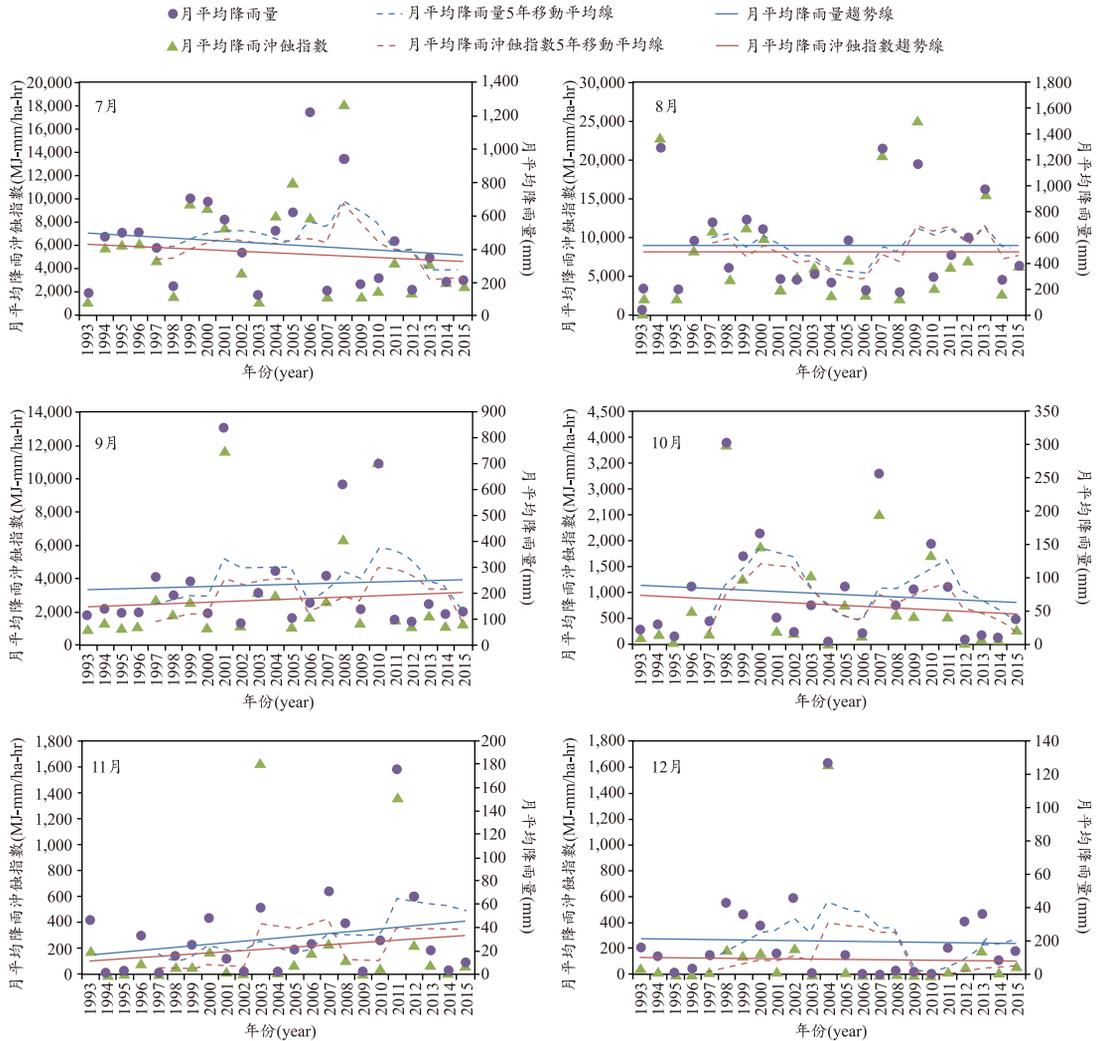


圖 4 台灣南部地區 23 年(1993~2015 年)7~12 月之月平均降雨量與月平均降雨沖蝕指數之時間變化趨勢。

12 月份及 1~4 月份時間變化圖中可看出, R_m 大多低於 1,000 MJ-mm/ha-hr, 且 R_m 趨勢線呈逐年遞減趨勢; 隨著 5 及 6 月份梅雨季節來臨, 降雨量開始增多, R_m 大多大於 1,000 MJ-mm/ha-hr, 且 R_m 隨時間變化之趨勢較不明顯; 8 及 9 月份為颱風及西南氣流影響季節, 近年來南部地區受氣候變遷極端降雨事件增加的影響, 颱風侵襲的頻率與降雨強度都有明顯增大之趨勢; 10 及 11 月份仍有颱風侵襲南部地區, 所以由圖中可看出 11 月份的 P_m 與 R_m 的時間變化趨勢線亦有微幅上升

趨勢。整體而言, 9 及 11 月份 P_m 與 R_m 之時間變化有逐年上升之趨勢; 其餘月份的 P_m 與 R_m 之時間變化為上升趨勢不明顯、持平或逐年下降趨勢。

(2) 季平均降雨量與降雨沖蝕指數之時間變化

根據中央氣象局(2011)之四季定義如下, 從 2 月至 4 月間為春季; 從 5 月至 7 月間為夏季; 從 7 月至 9 月間為秋季; 從 10 月至隔年 1 月間為冬季, 同樣以前述分析之方法, 將 1993~2001 年台灣南部地區中 95 個雨量站各季降雨量加以

表 2 台灣南部地區季平均降雨量與季平均降雨沖蝕指數之迴歸關係式分析結果

季節	迴歸關係式	相關係數(r2)	個數 (N)
春季	$R_s = 11.89 P_s^{0.88}$	0.70**	95
夏季	$R_s = 1.93 P_s^{1.36}$	0.93**	95
秋季	$R_s = 9.76 P_s^{1.05}$	0.70**	95
冬季	$R_s = 1.82 P_s^{1.28}$	0.75**	95

註：**表示顯著水準 $\alpha < 0.01$ 。

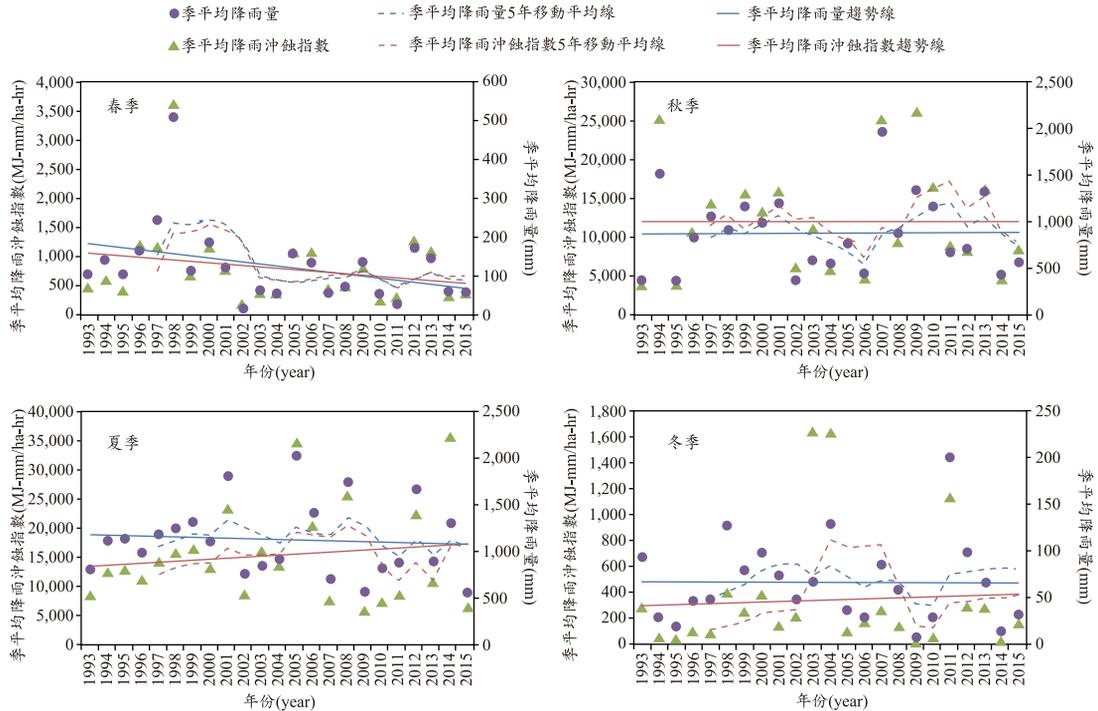


圖 5 台灣南部地區 23 年(1993~2015 年)之季平均降雨量與季平均降雨沖蝕指數之時間變化趨勢。

平均，得每季之平均降雨量(P_s)，代入各季平均之降雨量與降雨沖蝕指數迴歸關係式(如表 2 所示)，推估 1993~2001 年之各季平均降雨沖蝕指數(R_s)，最後再將 1993~2015 年各 R_s 點繪於圖 5，可看出台灣南部地區近 23 年(1993~2015 年) P_s 及 R_s 時間變化趨勢。於夏、秋及冬季的 P_s 與 R_s 時間變化圖中，5~10 月份大多受梅雨季節、颱風、豪雨及西南氣流影響，且近年來因氣候變遷，導致極端降雨事件頻繁，夏、秋季及冬季的 P_s 與

R_s 均有逐年上升之趨勢，而春季的 P_s 與 R_s 時間變化則是逐年下降之趨勢，此現象亦說明了未來乾季時的 P_s 與 R_s 會愈來愈低，而濕季時的 P_s 與 R_s 會愈來愈高。

(3) 年平均降雨量與降雨沖蝕指數之時間變化

同樣以前述分析之方法，將 1993~2001 年台灣南部地區中 95 個雨量站各年降雨量加以平均，得每年之平均降雨量(P_y)，代入年平均之降雨量與降雨沖蝕指數迴歸關係式(如表 3 所示)，推估

表 3 台灣南部地區年平均降雨量與年平均降雨沖蝕指數之迴歸關係式分析結果

迴歸關係式	相關係數(r^2)	個數 (N)
$R_y = 3.07 P_y^{1.20}$	0.87**	95

註：**表示顯著水準 $\alpha < 0.01$ 。

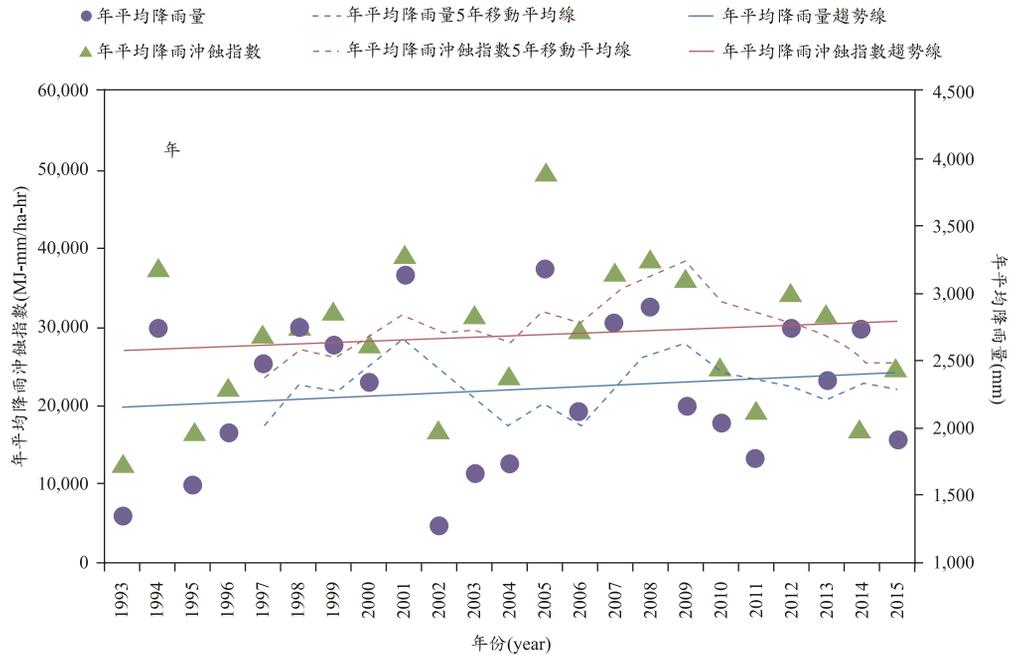


圖 6 台灣南部地區 23 年(1993~2015 年)之年平均降雨量與年平均降雨沖蝕指數之時間變化趨勢。

1993~2001 年之各年平均降雨沖蝕指數(R_y)，最後再將 1993~2015 年各 R_y 點繪於圖 6，可看出台灣南部地區近 23 年(1993~2015 年) P_y 及 R_y 時間變化趨勢。其中， P_y 與 R_y 的上升或下降之趨勢一致， P_y 皆大於 1,000 mm， R_y 普遍高於 15,000 MJ-mm/ha-hr-yr，而近年來受氣候變遷影響，颱風侵襲的頻率與降雨的強度都有明顯增加，因此 P_y 與 R_y 均有逐年上升之趨勢。

3.3 月、季及年降雨沖蝕指數空間變化趨勢

為瞭解台灣南部地區降雨沖蝕指數之空間分布情形，本研究依據所蒐集的 95 個雨量站之 2002~2015 年 10 分鐘降雨量資料，分別計算出

95 個雨量站之各月、季及年平均降雨沖蝕指數 (R_m 、 R_s 及 R_y)，利用 Topo to Raster 模組繪製各月、季及年平均降雨沖蝕指數之空間分布圖，其分析結果說明如下：

(1) 月平均降雨沖蝕指數之空間變化

台灣南部地區近年(2002~2015 年)之月平均降雨沖蝕指數(R_m)的空間變化，如圖 7 所示，大致上均由西部或西南部向東部或東北部遞增，並由平原地區向山區逐漸增加。由於 11 月至隔年 4 月屬乾季，降雨量較少，降雨沖蝕指數亦小，因此 11 月至隔年 4 月的 R_m 值大多低於 2,500 MJ-mm/ha-hr；而 5 月後因受梅雨季節、颱風及西南氣流影響，5 月至 10 月的 R_m 值均大於 2,500

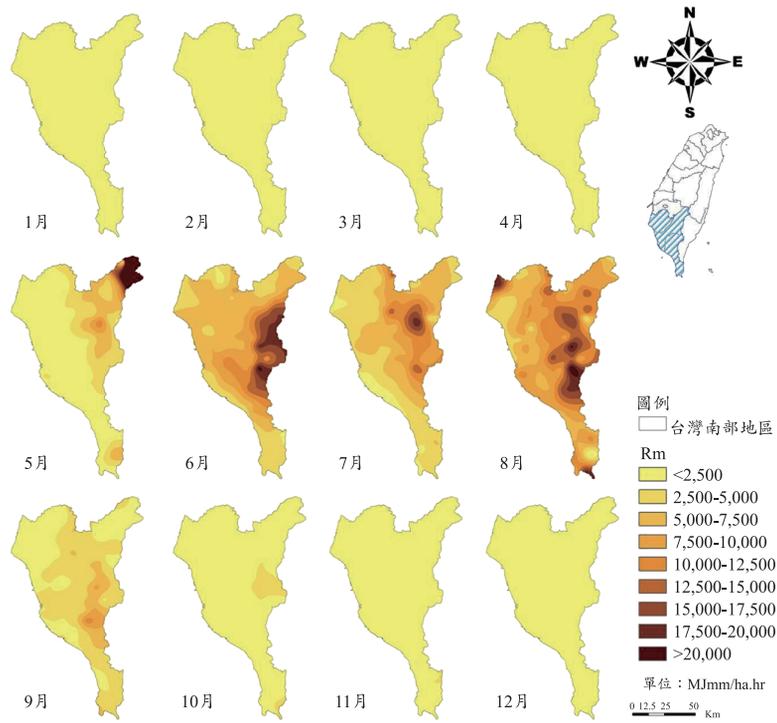


圖 7 台灣南部地區 14 年(2002~2015 年)月平均降雨沖蝕指數空間分布圖。

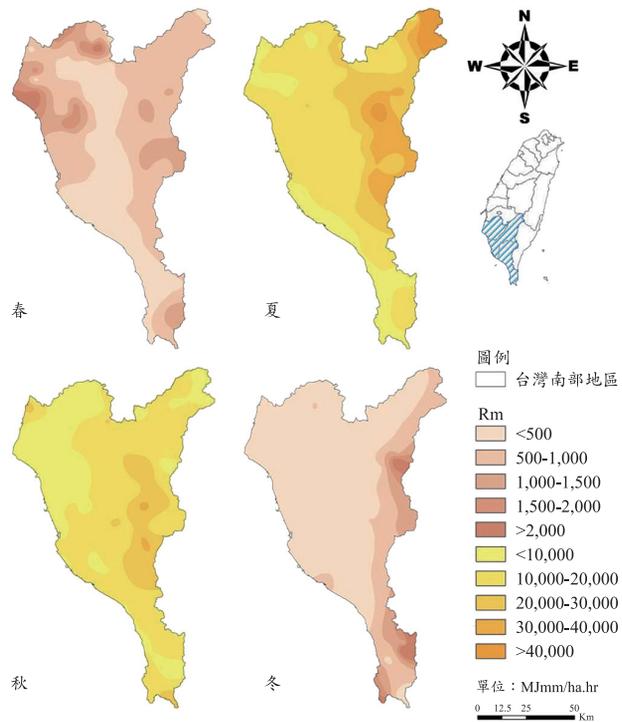


圖 8 台灣南部地區 14 年(2002~2015 年)季平均降雨沖蝕指數空間分布圖。

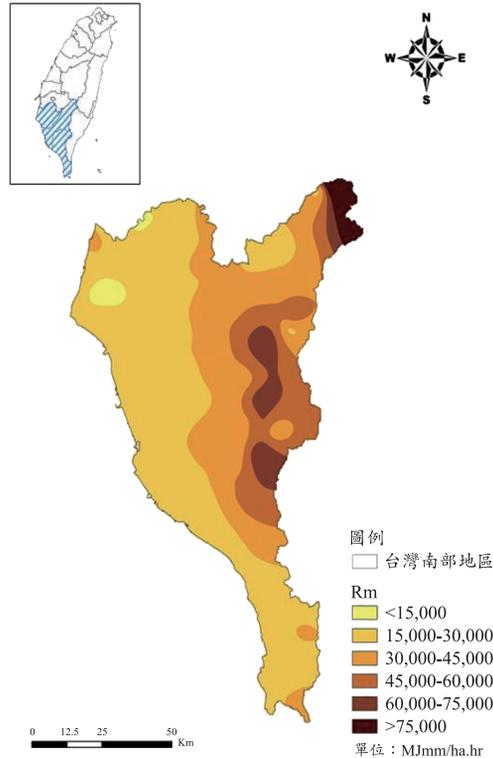


圖 9 台灣南部地區 14 年(2002~2015 年)年平均降雨沖蝕指數空間分布圖。

MJ-mm/ha-hr，尤以 7~8 月份的 R_m 值為最高。

(2) 季平均降雨沖蝕指數之空間變化

台灣南部地區近年(2002~2015 年)季平均降雨沖蝕指數(R_s)的空間變化，如圖 8 所示，大致上由西往東逐漸遞增。 R_s 範圍介於 500~40,000 MJ-mm/ha-hr 之間，主要集中於夏、秋兩季，其中又以夏季為最高，其最大 R_s 為 46,715 MJ-mm/ha-hr。春、冬兩季則因中央山脈阻擋使得東北季風不易到達南部，故 R_s 最大約 3,793 MJ-mm/ha-hr，與夏、秋兩季相比相差約 10 倍。

(3) 年平均降雨沖蝕指數之空間變化

台灣南部地區近 14 年(2002~2015 年)年平均降雨沖蝕指數(R_y)的空間變化，如圖 9 所示，大致上均由西南部向東北部遞增，並由平原地區向山區逐漸增加，尤其以東北部及中部靠東山區為最高。 R_y 值大多高於 15,000 MJ-mm/ha-hr-yr，其中以御油山雨量站之 R_y 值最大，因御油山雨量站

年平均降雨量較高(約 4,189 mm)，加上莫拉克颱風時單場降雨量為 2,558 mm，使得御油山雨量站為最大 R_y 值，高達 72,927 MJ-mm/ha-hr-yr。圖 10 為黃俊德(1979)、盧光輝(1999)、盧昭堯(2005)、蘇志強(2016)及本研究(2017)之 R_y 空間分布圖，由於繪製空間分布圖使用之雨量站位置、雨量資料精度及雨量資料年限皆不同，如表 4 所示，故只針對最大值進行探討，其中黃俊德(1979)最大 R_y 發生於天池雨量站，值為 48,008 MJ-mm/ha-hr-yr，盧光輝(1999)及盧昭堯等人(2005)最大 R_y 皆發生於泰武雨量站，值分別為 54,990 及 79,770 MJ-mm/ha-hr-yr，蘇志強等人(2016)與本研究(2017)之最大 R_y 皆發生於御油山雨量站，值分別為 80,000 MJ-mm/ha-hr-yr 以上及 72,927 MJ-mm/ha-hr-yr，由此可知，最大 R_y 有逐漸增大之趨勢，且在最大值發生位置有逐漸往北移之趨勢。

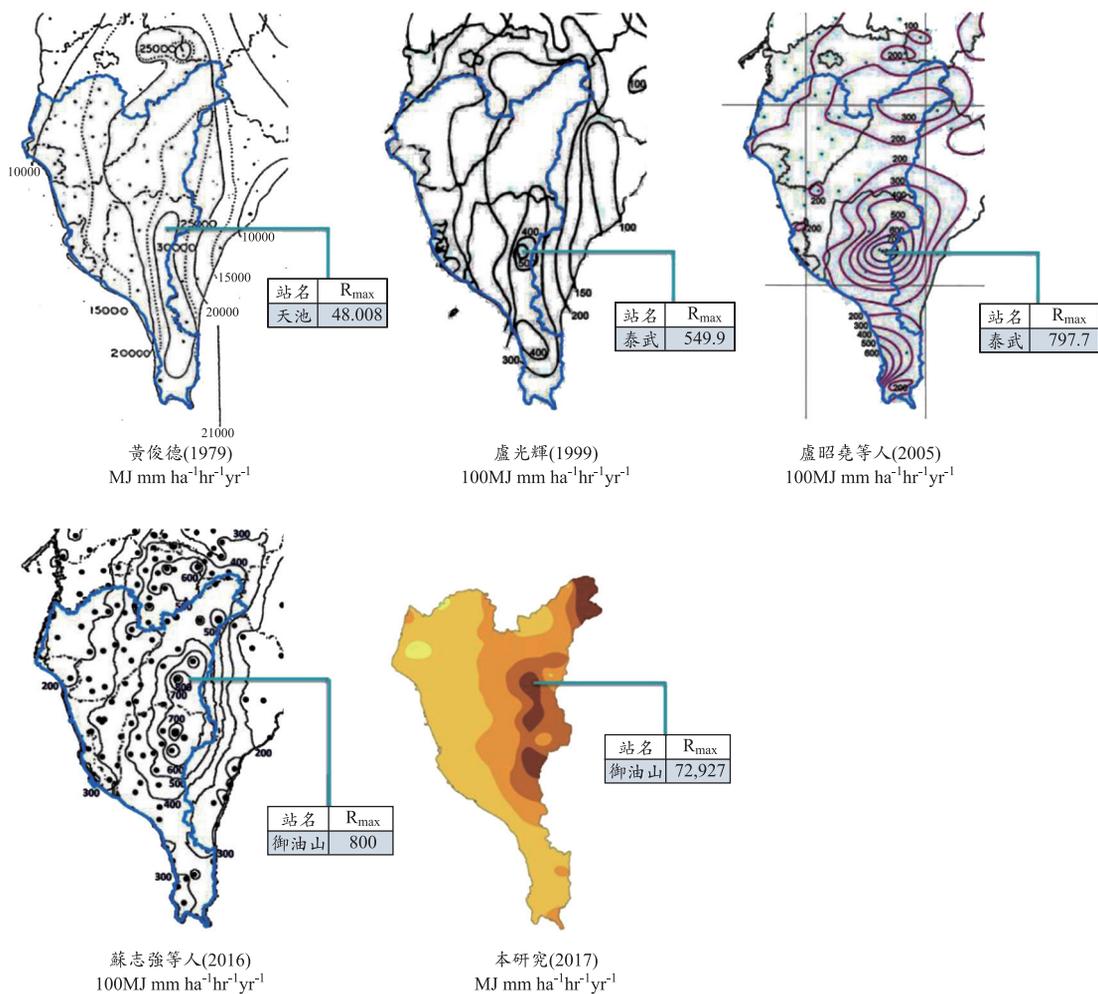


圖 10 台灣南部地區年平均降雨沖蝕指數空間分布圖之探討。

表 4 國內學者研究降雨沖蝕指數之降雨資料來源與計算方法

作者	黃俊德(1979)	盧光輝(1999)	盧昭堯等人(2005)	蘇志強等人(2016)	本研究(2017)
資料年限(年)	1957~1976	1977~1994	1975~2000	2001~2014	2002~2015
降雨資料及站數	日卷自記雨量記錄紙、8處測候所	降雨記錄	原始降雨記錄紙、10個氣候分區	原始降雨紀錄紙、10個氣候分區	自計式雨量站(10分鐘雨量)、95個雨量站
降雨動能之計算	Wischmeier and Smith(1958)		利用台灣實測雨滴粒徑推估降雨動能。	盧昭堯等人(2005)	Wischmeier and Smith(1958)
降雨沖蝕指數之計算	Wischmeier and Smith(1958)				
迴歸關係式	月及年	年	月、年	月、年	月、季及年

四、結論與建議

本研究以台南市、高雄市及屏東縣為研究區域，蒐集研究區域內 95 個中央氣象局雨量站資料，利用 2002 年至 2015 年之 10 分鐘等間隔降雨資料，及 1993 年至 2015 年之 60 分鐘等間隔降雨資料，分析月、季及年降雨量與降雨沖蝕指數之關係，並探討時間與空間變化，其結果說明如下：

1. 單場最大降雨量發生於 2009 年莫拉克颱風期間，約佔全部雨量站之 66% (63 個雨量站)。最大年降雨沖蝕指數範圍約介於 24,822~168,715 MJ-mm/ha-hr-yr 之間，平均約為 61,895 MJ-mm/ha-hr-yr，最大值為台南七股寮雨量站。
2. 降雨量與降雨沖蝕指數之時間變化分析結果顯示，月平均降雨量(P_m)及月平均降雨沖蝕指數(R_m)於 9 及 11 月份有逐年上升之趨勢；其餘月份的 P_m 與 R_m 之時間變化為上升趨勢不明顯、持平或逐年下降趨勢。季平均降雨量(P_s)及季平均降雨沖蝕指數(R_s)於夏、秋及冬季有逐年上升之趨勢；春季 P_s 與 R_s 則為逐年下降之趨勢。整體而言，研究地區之年平均降雨量(P_y)及年平均降雨沖蝕指數(R_y)均為逐年上升之趨勢。
3. 降雨沖蝕指數之空間變化分析結果顯示，台灣南部地區近 14 年(2002~2015 年)月平均降雨沖蝕指數(R_m)之空間變化，大致上均由西部或西南部向東部或東北部遞增，並由平原地區向山區逐漸增加。季降雨沖蝕指數(R_s)主要集中於夏、秋兩季，其中又以夏季為最高，大致上由西往東逐漸遞增。整體而言，年平均降雨沖蝕指數(R_y)之空間變化，大致上均由西南部向東北部遞增，並由平原地區向山區逐漸增加，其 R_y 值大多高於 15,000 MJ-mm/ha-hr-yr，最大為御油山雨量站， R_y 值高達 72,927 MJ-mm/ha-hr-yr，且由黃俊德(1979)、盧光輝(1999)、盧昭堯(2005)、蘇志強(2016)及本研究(2017)之年平均降雨沖蝕指數空間分布圖發現，最大年平均降雨沖蝕指數有逐

漸增大之趨勢，且在最大值發生位置有逐漸往北移之趨勢。

4. 本研究目前採用 Wischmeier and Smith (1958) 及 Laws and Parson (1943)之研究成果，進行降雨沖蝕指數之估算，建議未來可利用雷射雨滴譜儀量測台灣各地之雨滴粒徑及終端速度，配合標準試區土壤流失量之蒐集，建立適用於台灣之降雨沖蝕指數估算公式。
5. 由於近年來受到極端降雨事件影響，部分地區以過去訂定之年降雨沖蝕指數可能會有低估現象，建議參考本研究之全台灣降雨沖蝕指數，使其能更符合目前降雨特性所造成的土壤流失量之估算。

謝誌

本研究承蒙行政院農業委員會水土保持局(SWCB-105-054)及科技部(MOST 106-2625-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. Mondal, A., Khare, D., and Kundu, S., "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*, 4, 186-194, 2016.
2. Fiener, P., Neuhaus, P., and Botschek, J., "Long-term trends in rainfall erosivity - analysis of high resolution precipitation time series (1937-2007) from Western Germany," *Agricultural and Forest Meteorology*, 171-172, 115-123, 2013.
3. Lau, K.M., and Wu, H.T., "Detecting trends in tropical rainfall characteristics, 1979-2003," *International Journal of Climatology*, 27, 979-988, 2007
4. Laws, J.O., and Parsons, D.A., "The relation of raindrop-size to intensity," *American Geophysical Union*, 24, 452-460, 1943.
5. Natalia Hoyos, N., Peter R. Waylen, and Álvaro

- Jaramillo, "Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes," *Journal of Hydrology*, 314, 177-191, 2005.
6. Nuno, d.S.L., and Miguel, d.A.C., "A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal," *Journal of Hydrology*, 250, 12-18, 2001.
 7. Salako, F.K., "Development of isoerodent maps for Nigeria from daily rainfall amount," *Geoderma*, 156, 372-378, 2010.
 8. Takahiro Shiono, Shigeo Ogawa1, Teruhito Miyamoto, and Koji Kameyama "Expected impacts of climate change on rainfall erosivity of farmlands in Japan," *Ecological Engineering*, 61, 678-689, 2013.
 9. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., *Predicting rainfall erosion losses-Aguide to conservation planning*, Department of Agriculture Agricultural Handbook, U.S., 1978.
 10. Wischmeier, W.H., Smith D.D. and Uhland R.E., "Evaluation of factor in the soil-loss equation," *Agricultural Engineering*, 458-462, 1958.
 11. 中央氣象局：臺灣 24 節氣與氣候—1981～2010 資料統計，交通部中央氣象局出版，2011。
 12. 王其美、王婕妤、謝佳璇、吳瑞賢：「台灣區域單日最大與月降雨量之變遷特性分析」，*中國土木水利工程學刊*，第 24 卷第 4 期，pp. 345-355，2012。
 13. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲：土壤流失量估算手冊，國立屏東技術學院出版，1996。
 14. 李明熹、林煥軒、詹于婷：「利用日、月及年降雨量估算年降雨沖蝕指數」，*中華水土保持學報*，第 45 卷第 2 期，pp. 103-109，2014。
 15. 李明熹、簡士濠、徐一平、林煥軒：「近十年蘭陽溪集水區降雨沖蝕指數推估公式之建立及空間分析之探討」，*農業工程學報*，第 61 卷第 4 期，pp. 46-54，2015。
 16. 政府間氣候變化專門委員會：氣候變化 2014 綜合報告，政府間氣候變化專門委員會出版，2015。
 17. 范正成、楊智翔、劉哲欣：「台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，pp. 1-9，2009。
 18. 章文波、謝雲、劉寶元：「中國降雨侵蝕力空間變化特徵」，*山地學報*，第 21 卷第 1 期，pp. 33-40，2003。
 19. 黃俊德：「台灣降雨沖蝕指數之研究」，*中華水土保持學報*，第 10 卷第 1 期，pp. 127-142，1979。
 20. 楊斯堯、詹錢登、黃文舜、曾國訓：「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，pp. 189-199，2010。
 21. 盧光輝：「降雨沖蝕指數之修訂」，*中華水土保持學報*，第 30 卷第 2 期，pp. 87-94，1999。
 22. 盧昭堯、蘇志強、吳藝昀：「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，pp. 159-172，2005。
 23. 蘇志強、吳佩儒、盧昭堯：「台灣降雨特性變化及降雨沖蝕指數圖修訂」，第 47 卷第 1 期，pp. 1-12，2016。

收稿日期：民國 106 年 7 月 5 日

修正日期：民國 106 年 9 月 8 日

接受日期：民國 106 年 9 月 25 日

附錄一 台灣南部地區 95 個中央氣象局雨量站基本資料表

站名	站碼	縣市	鄉鎮區	TWD97 座標系統		高程 (m)	年平均降雨量 (mm)
				X97	Y97		
下營	C1X060	臺南市	下營區	173871	2569414	19	1,827
大內	C1O860	臺南市	大內區	184595	2557734	61	2,098
大棟山	C1O870	臺南市	白河區	201139	2578865	1,246	3,292
王爺宮	C1O840	臺南市	六甲區	188511	2568853	144	2,088
北門	C1X070	臺南市	北門區	160424	2574258	14	1,549
左鎮	C1O820	臺南市	左鎮區	188946	2550456	30	2,231
玉井	C0O930	臺南市	玉井區	194754	2558308	42	2,481
白河	C1X030	臺南市	白河區	191599	2580346	33	2,158
佳里	C0X080	臺南市	佳里區	162437	2563725	2	1,497
和順	C1O950	臺南市	安南區	162373	2553019	4	1,571
岸內	C1X010	臺南市	鹽水區	174358	2581009	15	1,573
東河	C1X050	臺南市	東山區	187125	2577288	19	2,026
東原	C1X040	臺南市	東山區	195107	2576641	232	2,432
虎頭埤	C1O970	臺南市	新化區	183151	2546789	60	2,139
善化	C0O900	臺南市	善化區	178047	2556934	9	1,758
曾文	C0O810	臺南市	楠西區	198603	2568630	174	2,998
媽祖廟	C1O990	臺南市	歸仁區	177554	2543524	23	1,945
新市	C1O980	臺南市	新市區	178133	2551335	76	1,947
新營	C0O910	臺南市	柳營區	180645	2576825	16	1,861
楠西	C1O920	臺南市	楠西區	197224	2564667	150	2,497
環湖	C1O850	臺南市	大內區	190440	2560817	44	2,277
關子嶺	C0X020	臺南市	白河區	200065	2580591	403	3,193
關山	C1O880	臺南市	南化區	208425	2563523	223	2,931
南化	C0O890	臺南市	南化區	197595	2549100	167	1,945
七股	C1X090	臺南市	七股區	162558	2560248	6	1,463
北寮	C1O830	臺南市	南化區	198207	2553189	105	2,605
沙崙	C1N000	臺南市	歸仁區	179148	2537333	25	1,807
崎頂	C1O960	臺南市	龍崎區	185285	2539951	80	2,118
三爺	C1P9A0	高雄市	路竹區	176102	2526366	35	1,859
大津	C1V340	高雄市	六龜區	213694	2531949	190	3,236
大寮	C1V180	高雄市	大寮區	191600	2501228	24	2,144
小關山	C1V220	高雄市	桃源區	230890	2561354	1,781	3,394
下營	C1X060	臺南市	下營區	173871	2569414	19	1,827

附錄一 台灣南部地區 95 個中央氣象局雨量站基本資料表 (續)

站名	站碼	縣市	鄉鎮區	TWD97 座標系統		高程 (m)	年平均降雨量 (mm)
				X97	Y97		
大內	C1O860	臺南市	大內區	184595	2557734	61	2,098
大棟山	C1O870	臺南市	白河區	201139	2578865	1,246	3,292
王爺宮	C1O840	臺南市	六甲區	188511	2568853	144	2,088
北門	C1X070	臺南市	北門區	160424	2574258	14	1,549
左鎮	C1O820	臺南市	左鎮區	188946	2550456	30	2,231
玉井	C0O930	臺南市	玉井區	194754	2558308	42	2,481
白河	C1X030	臺南市	白河區	191599	2580346	33	2,158
佳里	C0X080	臺南市	佳里區	162437	2563725	2	1,497
和順	C1O950	臺南市	安南區	162373	2553019	4	1,571
岸內	C1X010	臺南市	鹽水區	174358	2581009	15	1,573
東河	C1X050	臺南市	東山區	187125	2577288	19	2,026
東原	C1X040	臺南市	東山區	195107	2576641	232	2,432
虎頭埤	C1O970	臺南市	新化區	183151	2546789	60	2,139
善化	C0O900	臺南市	善化區	178047	2556934	9	1,758
曾文	C0O810	臺南市	楠西區	198603	2568630	174	2,998
媽祖廟	C1O990	臺南市	歸仁區	177554	2543524	23	1,945
新市	C1O980	臺南市	新市區	178133	2551335	76	1,947
新營	C0O910	臺南市	柳營區	180645	2576825	16	1,861
楠西	C1O920	臺南市	楠西區	197224	2564667	150	2,497
環湖	C1O850	臺南市	大內區	190440	2560817	44	2,277
關子嶺	C0X020	臺南市	白河區	200065	2580591	403	3,193
關山	C1O880	臺南市	南化區	208425	2563523	223	2,931
南化	C0O890	臺南市	南化區	197595	2549100	167	1,945
七股	C1X090	臺南市	七股區	162558	2560248	6	1,463
北寮	C1O830	臺南市	南化區	198207	2553189	105	2,605
沙崙	C1N000	臺南市	歸仁區	179148	2537333	25	1,807
崎頂	C1O960	臺南市	龍崎區	185285	2539951	80	2,118
三爺	C1P9A0	高雄市	路竹區	176102	2526366	35	1,859
大津	C1V340	高雄市	六龜區	213694	2531949	190	3,236
大寮	C1V180	高雄市	大寮區	191600	2501228	24	2,144
小關山	C1V220	高雄市	桃源區	230890	2561354	1,781	3,394

附錄二 台灣南部地區各雨量站有效降雨事件之極端值特性分析

雨量站	單場有效 降雨事件(場)	單場最大 降雨量 (mm)	單場最大 降雨延時 (hr)	單場最大 降雨動能 (MJ/ha)	單場最大降雨 沖蝕指數 (a)	最大年降雨 沖蝕指數 (b)	年平均降雨 沖蝕指數 (b)
七股寮	226	875	83	224	24,017	168,715	12,051
下營	316	1,027	121	259	47,970	81,635	20,552
大內	326	1,048	122	263	32,056	44,246	24,171
大棟山	649	1,586	121	383	27,935	59,835	36,006
王爺宮	360	1,063	130	253	25,176	46,710	24,926
北門	279	639	77	150	13,515	43,656	30,577
北寮	331	1,014	120	279	55,178	98,035	37,409
左鎮	409	1,045	121	263	32,062	47,611	24,156
玉井	460	1,347	122	337	39,824	58,296	30,422
白河	412	868	121	212	33,354	56,884	21,929
沙崙	140	843	92	204	21,459	34,205	23,731
佳里	261	852	84	209	22,185	43,673	14,404
和順	244	1,001	127	244	23,378	50,675	17,534
岸內	284	666	126	153	15,502	27,321	14,305
東河	346	793	91	193	19,929	33,404	16,531
東原	505	1,107	166	272	24,454	54,707	26,918
虎頭埤	314	1,057	121	267	30,731	40,625	25,315
崎頂	255	1,040	121	244	13,858	33,819	21,271
善化	338	1,108	130	268	33,005	51,948	18,997
曾文	503	1,987	121	510	61,734	75,788	42,380
媽祖廟	308	883	127	207	22,814	46,579	22,297
新市	305	1,077	124	256	26,827	44,033	21,867
新營	327	821	121	198	23,947	44,054	19,040
楠西	466	1,330	122	325	44,696	76,088	31,473
環湖	383	1,092	121	273	33,292	48,088	24,530
關子嶺	601	1,585	120	401	42,942	90,538	40,067
關山	508	1,344	121	312	33,186	74,699	34,036
大津	529	1,473	164	356	24,951	65,638	38,107
大寮	326	814	193	195	21,643	35,943	24,448
小關山	548	2,541	135	646	82,744	92,817	40,230
月眉	417	1,373	120	335	32,474	46,860	33,401
木柵	380	1,358	137	338	33,839	50,282	31,356
古亭坑	366	1,036	132	248	18,855	42,556	23,055
左營	287	859	184	204	18,220	33,996	22,186

附錄二 台灣南部地區各雨量站有效降雨事件之極端值特性分析 (續)

雨量站	單場有效 降雨事件(場)	單場最大 降雨量 (mm)	單場最大 降雨延時 (hr)	單場最大 降雨動能 (MJ/ha)	單場最大降雨 沖蝕指數 (a)	最大年降雨 沖蝕指數 (b)	年平均降雨 沖蝕指數 (b)
甲仙	488	2,094	129	529	63,964	84,455	40,922
吉東	426	1,004	144	233	22,922	46,453	32,678
尖山	351	846	138	202	24,068	59,748	23,989
竹子腳	301	837	123	198	36,109	49,659	27,470
岡山	274	944	125	260	35,911	47,696	22,960
表湖	259	886	109	209	14,357	42,684	24,274
美濃	495	1,066	117	252	26,033	61,640	33,608
高中	453	2,338	138	578	60,285	74,387	39,924
御油山	637	2,970	161	754	76,859	144,248	72,927
排雲	480	1,655	176	386	23,522	35,040	17,225
梅山	457	2,077	120	522	55,321	79,464	30,867
復興	488	2,247	117	596	76,842	81,811	31,409
新發	458	2,423	139	615	70,098	83,338	53,963
新集	110	1,749	130	436	46,687	61,939	28,663
新興	159	550	84	133	19,021	35,544	23,152
楠溪	441	2,137	147	531	45,662	52,278	27,321
溪南	536	2,806	136	714	84,817	106,208	54,861
溪埔	338	1,040	167	253	32,225	50,032	29,853
路竹	210	1,003	123	240	19,227	44,007	20,784
旗山	378	945	215	225	23,499	46,080	29,161
旗津	146	320	75	73	7,721	24,822	16,174
鳳森	284	726	122	170	29,696	34,106	30,321
鳳雄	280	925	133	226	29,821	42,466	42,759
鳳山	289	933	121	223	17,876	37,484	21,985
南天池	476	2,740	122	701	72,919	85,037	58,437
力里	427	878	168	209	20,710	67,741	42,811
三地門	517	1,299	138	316	45,209	85,040	18,460
三爺	275	995	122	240	19,700	51,290	25,148
上德文	554	2,296	140	594	70,726	95,514	67,633
古夏	544	1,208	201	291	46,952	88,778	23,769
石門山	372	522	96	121	22,364	36,141	33,759
旭海	451	1,234	120	304	43,087	69,701	47,387
尾寮山	619	2,969	121	780	107,675	131,040	24,444
牡丹	336	1,163	108	291	39,221	51,207	28,102

附錄二 台灣南部地區各雨量站有效降雨事件之極端值特性分析 (續)

雨量站	單場有效 降雨事件(場)	單場最大 降雨量 (mm)	單場最大 降雨延時 (hr)	單場最大 降雨動能 (MJ/ha)	單場最大降雨 沖蝕指數 (a)	最大年降雨 沖蝕指數 (b)	年平均降雨 沖蝕指數 (b)
牡丹池山	619	995	148	244	32,468	87,325	30,660
赤山	473	1,789	174	541	68,108	129,293	46,255
車城	344	764	104	206	33,676	69,665	19,646
里港	371	1,002	120	242	21,084	39,525	54,861
佳樂水	202	1,204	101	307	38,123	63,382	29,853
來義	403	1,355	171	340	51,252	93,342	20,784
東港	175	953	86	230	19,813	26,074	29,161
枋山	331	646	118	147	13,538	52,220	18,809
枋寮	313	707	114	162	12,402	34,525	17,157
阿禮	376	1,220	141	275	28,179	61,051	37,342
南州	298	867	115	210	22,456	33,137	20,754
屏東	368	1,115	167	282	33,784	66,158	31,736
春日	310	708	105	160	17,985	40,456	24,685
新園	415	1,088	244	231	26,315	103,246	39,489
楓港	337	641	113	145	12,793	38,730	18,742
壽卡	462	612	148	133	17,530	50,798	20,508
瑪家	438	1,939	193	491	60,764	138,197	70,720
潮州	374	865	172	210	35,038	59,161	28,257
墾丁	205	1,060	99	268	39,699	59,575	32,167
貓鼻頭	295	943	99	233	53,208	82,904	23,570
龍泉	442	1,045	195	248	21,062	62,061	31,798
檳榔	493	1,058	108	260	59,824	63,055	21,577
麟洛	408	991	167	241	20,484	53,842	33,257
南化	426	1,499	129	377	43,288	60,783	36,841
民生	466	2,221	125	565	64,149	78,554	37,521
大漢山	369	793	136	185	19,348	54,099	24,568
阿蓮	314	956	125	229	24,888	47,835	32,148
最大值	649	2,970	244	780	107,675	168,715	72,927
最小值	110	320	75	73	7,721	24,822	12,051
平均值	379	1,236	131	306	35,580	61,895	30,631
標準差	116	577	30	153	19,483	27,179	11,906

註：(a)表示單位：MJ-mm/ha-hr；(b)表示單位：MJ-mm/ha-hr-yr