

# 利用不同降雨量推估年降雨沖蝕指數

林煥軒<sup>[1]</sup> 李明熹<sup>[2\*]</sup> 張平原<sup>[3]</sup>

**摘 要** 降雨沖蝕指數是通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)重要的參數之一，它的大小表示降雨對土壤沖蝕能力的高低。由於計算降雨沖蝕指數需要 30 分鐘或更短延時的雨量資料，然而許多地區往往缺乏短延時雨量資料，大部分地區只有日降雨量資料，甚至月或年降雨量資料。因此，採用何種(日、月或年)降雨量資料，來推估年平均降雨沖蝕指數較接近 30 分鐘或更短雨量資料計算所得的降雨沖蝕指數，是本研究主要探討重點。本研究以隘寮溪集水區為研究區域，收集集水區 6 個雨量站 10 年(2002-2011)10 分鐘等間隔的降雨資料，依據 Wischmeier and Smith (1978)分割有效降雨事件共 2266 場，首先計算各單場降雨之降雨沖蝕指數( $R_i$ )，求得年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )，接著以三種降雨量，迴歸出日、月及年之降雨量( $P_d$ ,  $P_m$ ,  $P_y$ )與其降雨沖蝕指數關係式，依據上述迴歸關係式，求得三種降雨量下之年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 及  $R_y^{***}$ )，採用均方根誤差(RMSE)及平均絕對誤差百分比(MAPE)，探討三種不同降雨量推估的年降雨沖蝕指數之適用性。研究結果顯示，利用日降雨量推估年降雨沖蝕指數的適用性優於利用月及年降雨量所推估的年降雨沖蝕指數。本研究結果可提供缺乏短延時降雨資料地區之年降雨沖蝕指數推估之參考依據。

**關鍵詞：**降雨沖蝕指數、均方根誤差、平均絕對誤差百分比、隘寮溪集水區。

## Annual Rainfall Erosion Estimation under Different Rainfall Amount

Huan-Hsuan Lin <sup>[1]</sup> Ming-Hsi Lee <sup>[2\*]</sup> Ping-Yuang Chang <sup>[3]</sup>

**ABSTRACT** The Universal Soil Loss Equation (USLE) is presently one of the most widely used models to evaluate soil erosion. Rainfall erosivity (R factor or  $EI_{30}$ ) in USLE is defined as the long-term average of the product of total rainfall energy (E) and the maximum 30 min rainfall intensity ( $I_{30}$ ) for storm events (Wischmeier and Smith, 1978). However, in many places included Taiwan and other parts of the world the detailed short time rainfall data (less than 30 min) are not readily available, while daily, monthly, and annual rainfall data are readily available. Therefore, the data set consists of 2266 storm events, monitored by 6 rainfall stations in Ailiao river watershed. This study established three regression models, which have been used to estimate annual rainfall erosivity ( $R_y$ ) using daily rainfall ( $P_d$ ), monthly rainfall ( $P_m$ ) and annual rainfall ( $P_y$ ) in Ailiao river watershed. Differences between the estimated and actual values were compared by root mean square error (RMSE) and mean absolute percentage error (MAPE) analyses to determine the applicability of these models. The results show that estimated values by the model of daily rainfall ( $P_d$ ) were best accurate (error less than 10%) for 4 of 6 stations. The method proposed in this paper would be useful for further studies concerning climate change.

**Key Words:** Rainfall erosivity index, Root mean square error (RMSE), Mean absolute percentage error (MAPE), Ailiao river watershed.

[1] 國立屏東科技大學土木工程系博士生

Ph.D Student, Dept. of Civil Engineering, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan.

[2] 國立屏東科技大學水土保持系助理教授 (\* 通訊作者 E-mail: mhlee@mail.npust.edu.tw)

Assistant Professor, Dept. of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan.

[3] 國立屏東科技大學水土保持系學士生

University student, Dept. of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan.

## 一、前 言

颱風、豪雨所引發的土壤沖蝕，對於熱帶及亞熱帶地區是一個攸關環境與經濟的重要問題，尤其在農業領域上特別重要(Cooke and Doornkamp, 1990)。台灣位於熱帶及亞熱帶的交界，每年平均約有 3~5 個颱風登陸，其中，2009 年莫拉克颱風挾帶超大豪雨，造成全台坡地災害頻傳，尤其以南部地區災情最為嚴重。現有估計土壤沖蝕量之經驗公式中，以 Wischmeier and Smith(1958)通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)使用最廣，其公式是由降雨沖蝕因子(R)、土壤沖蝕性因子(K)、坡長因子(L)、坡度因子(S)、作物與管理因子(C)、水土保持處理因子(P)等 6 項因子所組成，可用來估算土壤沖蝕量。又降雨沖蝕指數(Rainfall Erosivity)，通稱 R 指數(R factor)為一能具體描述降雨對土壤造成沖蝕之影響程度的因子，且為通用土壤流失公式中重要參數。因此，探討降雨沖蝕指數對於改善土壤沖蝕問題上有相當大的助益。計算降雨沖蝕指數需要 30 分鐘或更短延時的雨量資料，然而，許多地區往往缺乏短延時的雨量資料，僅有日降雨量資料，甚至月、年降雨量資料。目前國內外學者相繼做進一步研究，提出簡化降雨沖蝕指數計算的方法。

### 1. 日降雨量與降雨沖蝕指數

國外學者發現日降雨沖蝕指數與日降雨量呈乘冪關係， $R=aP^b$ ，其中 a、b 為待定係數(Richardson *et al.*, 1983; Elsenbeer and Classel, 1993; Brown and Foster, 1987; Bagarello and N'Asaro, 1994; Mannaerts and Gabriels, 2000; 章文波等, 2002)。胡續禮等(2006)指出利用日雨量計算日降雨沖蝕指數，當雨量大、雨型為長延時與低降雨強度時，計算結果會大於實際值；反之，雨型為短延時且高強度時，計算結果明顯偏小。

### 2. 月降雨量與降雨沖蝕指數

Nuno de Santos Loureiro and Miguel de Azevedo Coutinho(2001)利用月降雨量資料推估月降雨沖蝕指數公式；范正成等(2009)探討月雨量與月降雨沖蝕指數之間的關係，透過迴歸分析建立台北地區降雨沖蝕指數推估公式。

### 3. 年降雨量與降雨沖蝕指數

國外學者利用年降雨量與年降雨沖蝕指數建立迴歸方程式，發現兩者關係呈線性(Lo *et al.*, 1985)、乘冪(Jung *et al.*, 1983; Renard and Freimund, 1994; Yu, B., 1996)或二次多項式(Renard and Freimund, 1994)等關係。其中，Lo *et al.*(1985)提出的線性方程式已被用來推估泰國(Funnpheng *et al.*, 1991; Shestha *et al.*, 1996; Myint *et al.*, 1997; Eiumnoh, 2000; Merritt, 2002; Hartcher *et al.*, 2005)、印尼(Toxopeus, 1997; Sulistioadi, 2004)、緬甸(Thang *et al.*, 2005)及馬來西亞(Blanco and Nadaoka, 2006)等熱帶及亞熱帶地區的年降雨沖蝕指數。國內曾有多位學者用台灣歷年的降雨紀錄，成功建立年降雨沖蝕指數，發現年降雨量與年降雨沖蝕指數呈乘冪關係(黃俊德, 1979; 盧光輝, 1999; 盧昭堯等, 2005)及線性關係(俞俊賓, 2008)。

綜合上述前人研究發現，大部分學者都只各別探討不同降雨量與降雨沖蝕指數之間的關係，並進行迴歸公式的建立，而沒有針對不同降雨量與降雨沖蝕指數所建立的公式進行適用性探討。因此，本研究將以台灣南部地區-隘寮溪集水區為研究區域，採用集水區內 6 個雨量站 2002-2011 年的 10 分鐘雨量資料，分別以日降雨量(Ra)與日降雨沖蝕指數(Rd)、月降雨量(Pm)與月降雨沖蝕指數(Rm)及年降雨量(Py)與年降雨沖蝕指數(Ry)，迴歸分析進行日、月及年三種不同降雨量與降雨沖蝕指數推估公式之建立。並以 Wischmeier and Smith(1978)計算 R 值的方法，計算各雨量站的實際年平均降雨沖蝕指數(Ry)。最後，採用均方根誤差與平均絕對誤差百分比，分析各雨量站實際年平均降雨沖蝕指數(Ry)與日、月、年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數(Ry\*、Ry\*\*與 Ry\*\*\*)的誤差值，找出推估公式中，較

適合用來推估年平均降雨沖蝕指數的降雨量。

## 二、研究材料與方法

本研究以隘寮溪集水區內 6 個中央氣象局雨量站 2002-2011 年的 10 分鐘雨量資料，依據 Wischmeier and Simth(1978)對有效降雨事件的定義進行雨場分割，分析出單場有效降雨事件，並整理出 10 年內日、月及年三種不同降雨量( $P_d$ ,  $P_m$ ,  $P_y$ )與降雨沖蝕指數( $R_d$ ,  $R_m$ ,  $R_y$ )，迴歸出降雨量與降雨沖蝕指數關係式，然後以關係式估算三種降雨量( $P_d$ ,  $P_m$ ,  $P_y$ )之年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 及  $R_y^{***}$ )。將  $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 及  $R_y^{***}$ 與實際年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )進行均方根誤差(root mean square error, RMSE)及平均絕對誤差百分比(mean absolute percentage error, MAPE)分析，探討三種降雨量所推估的年降雨沖蝕指數關係式之適用性。

### 2.1 研究區域概述

本研究以隘寮溪集水區為研究區域，集水區面積為 618 km<sup>2</sup>，主要涵蓋鄉鎮為霧台鄉(佔集水區面積 48.6%)，三地門鄉(佔集水區面積 29.2%)及高樹鄉(佔集水區面積 9.3%)，其中三地門鄉與高樹鄉間橫跨潮州斷層。集水區之平均高程為 940 m，平均坡度為 30°，地質以廬山層為主，由於硬頁岩、板岩及千枚岩節理發達，容易風化碎裂，地質脆弱。在台灣南部地區，因夏季西南氣流及夏秋之際的颱風帶來豐沛的雨量，土壤沖蝕與崩塌情形頻繁。

因此，本研究將蒐集研究區域內 6 個中央氣象局雨量站，進行降雨量與降雨沖蝕指數之研究，雨量站包含尾寮山、上德文、阿禮、古夏、三地門及瑪家，各雨量站基本資料如表 1 所示。從表中可看出，高程最高為阿禮雨量站 1040 m，其次為尾寮山雨量站 1018 m，最低為三地門雨量站 99 m；年平均雨量最大為尾寮山雨量站 4426 mm，其次為瑪家雨量站 4083 mm，最小為阿禮雨量站 3130 mm；6 各佔各雨量站分布位置如圖 1 所示。

表 1 隘寮溪集水區內雨量站特性

Table 1 Characteristics of rainfall stations in Ailiao river watershed.

雨量站	鄉鎮	座標(TWD97)		高程 (m)	年平均 雨量 (mm)	雨量資料 年限
		X	Y			
尾寮山	三地門鄉	217557	2525849	1018	4426	2002-2011
上德文	三地門鄉	219651	2518093	820	4002	2002-2011
阿禮	霧台鄉	223669	2515810	1040	3130	2002-2011
古夏	三地門鄉	213576	2518815	140	3133	2002-2011
三地門	內埔鄉	212989	2512234	99	3135	2002-2011
瑪家	瑪家鄉	217834	2509207	740	4083	2002-2011

資料來源：中央氣象局。

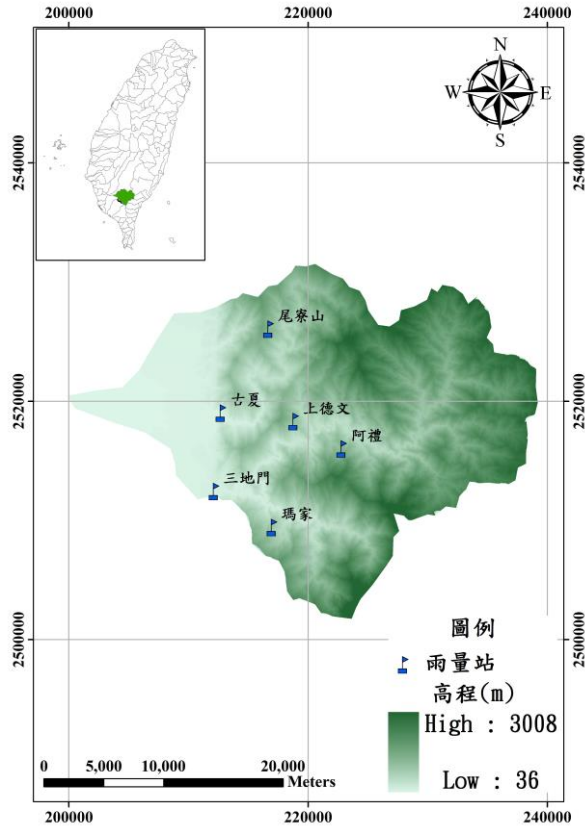


圖 1 隘寮溪集水區內 6 個雨量站分布

Fig. 1 Geographic locations of 6 rainfall stations in Ailiao river watershed.

## 2.2 研究方法

### 1. 降雨沖蝕指數

通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)是由美國學者 Wischmeier and Smith(1958)收集許多試驗田區實測土壤流失資料，經由統計分析後發展成為現今廣泛為世界各國所使用的通用土壤流失公式。該公式如下：

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (2-1)$$

式中， $A$  為每公頃之年平均土壤流失量( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )； $R$  為降雨沖蝕指數( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )； $K$  為土壤沖蝕性指數( $\text{ton ha h yr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )； $L$  為坡長因子； $S$  為坡度因子； $C$  為作物管理因子； $P$  為水土保持處理因子(Wischmeier and Smith, 1958; 吳嘉俊等, 2004)。

在 USLE 公式中之  $R$  值代表降雨沖蝕指數，而降雨沖蝕指數的大小代表了降雨及逕流對土壤可能造成沖蝕程度的高低，是評估土壤沖蝕的重要指標。Wischmeier 經由現場實測的土壤流失資料發現，土壤流失量與降雨總動能和該場降雨最大 30 分鐘降雨強度之乘積呈正相關。因此，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，而且降雨沖蝕指數可以線性累加，如公式 2-2 所示：

$$(R_m)_j \sum_{i=1}^{T_j} (E_{ji}) \times I_{j30} = \sum_{i=1}^{T_j} (e_i P_{ji}) \times I_{j30} \quad (2-2)$$

其中， $(R_{mj})$  為第  $j$  場降雨的降雨沖蝕指數； $E_{ji}(=e_i P_j)$  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。

降雨動能採用 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：

$$E=0.119+0.0873\log_{10}I \quad ; I < 76 \text{ mm/h} \quad (2-3a)$$

$$E=0.283 \quad ; I \geq 76 \text{ mm/h} \quad (2-3b)$$

由公式中反應出自然降雨之降雨強度小於 76 mm/h，降雨動能依據公式 2-3a 計算；當降雨強度超過 76 mm/h 後，單位降雨動能為一定值，不再隨降雨強度增加而改變。

另外，降雨沖蝕指數係指由降雨引起的土壤沖蝕潛在能力，為直接反映在降雨對土壤沖蝕的程度，但是並不表示任何一場降雨均具有足夠的土壤沖蝕潛能，故在計算降雨沖蝕指數之前，必須針對有效之單場降雨進行定義。其定義如下：(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，(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，則該場降雨應視為單場有效降雨事件。

## 2. 誤差分析方法

本研究根據 Lee and Heo(2011)所採用的均方根誤差與平均絕對誤差百分比，來評估各雨量站實際年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )與日、月、年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 與  $R_y^{***}$ )的誤差值，找出隘寮溪集水區合適的降雨量推估年降雨沖蝕指數之公式。均方根誤差與平均絕對誤差百分比公式分別如(2-4)與(2-5)所示。

(1)均方根誤差(root mean square error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{(R_{act} - R_{est})^2} \quad (2-4)$$

式中， $R_{act}$  為實際降雨沖蝕指數； $R_{est}$  為推估降雨沖蝕指數。

(2)平均絕對誤差百分比(mean absolute percentage error, MAPE)-

$$MAPE = \left| \frac{R_{act} - R_{est}}{R_{act}} \right| \times 100(\%) \quad (2-5)$$

式中， $R_{act}$  為實際降雨沖蝕指數； $R_{est}$  為推估降雨沖蝕指數。

## 三、結果與討論

### 3.1 有效降雨事件分析

本研究蒐集隘寮溪集水區內 6 個雨量站各 10 年，共計 60 年的雨量資料，並根據 Wischmeier and Smith(1978)提出有效雨場之定義，進行 6 個雨量站單場有效雨場事件之分析，分析結果如表 1 所示。從表中顯示出，隘寮溪集水區單場有效降雨事件共計 2266 場。其中，最多發生在尾寮山雨量站為 423 場，其次為古夏雨量站為 419 場，而最少則發生在阿禮雨量站的 309 場。此外，6 個雨量站之單場累積雨量最大值皆發生在 2009 年莫拉克颱風期間，以尾寮山雨量站所分析的單場降雨量為最大 2969.0 mm，其次為上德文雨量站 2296.0 mm，最小為古夏雨量站 1207.5 mm。另外，6 個雨量站的單場降雨沖蝕最大值發生於尾寮山與上德文雨量站，皆在 2009 年莫拉克颱風期間，分別為 107675 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> 與 70726 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>；最小值則發生於阿禮雨量站，在 2005 年 0612 豪雨期間，其值為 28180 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>。古夏、三地門與瑪家雨量站最大值則發生在 2007 年梧提颱風期間，分別為 60764 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>、46952 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> 與 45209 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>。

表 2 隘寮溪集水區內 6 個雨量站單場有效降雨事件分析

**Table 2 Rainfall and rainfall erosivity analysis for 6 rainfall stations in Ailiao river watershed.**

雨量站	單場有效 雨場事件 (場)	單場累積降雨量(mm)		單場降雨沖蝕指數(MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	
		最大值	最大值發生事件	最大值	最大值發生事件
尾寮山	423	2969.0	2009 年莫拉克颱風	107675	2009 年莫拉克颱風
上德文	382	2296.0	2009 年莫拉克颱風	70726	2009 年莫拉克颱風
阿禮	309	1199.5	2009 年莫拉克颱風	28180	2005 年 0612 豪雨
古夏	419	1207.5	2009 年莫拉克颱風	46952	2007 年梧提颱風
三地門	367	1299.0	2009 年莫拉克颱風	45209	2007 年梧提颱風
瑪家	366	1939.0	2009 年莫拉克颱風	60764	2007 年梧提颱風
總計	2266				

### 3.2 不同降雨量年降雨沖蝕指數推估公式之建立

本研究採用隘寮溪集水區內 6 個雨量站，進行不同降雨量與降雨沖蝕指數之關係探討。根據 6 個雨量站 2002-2011 年的 10 分鐘雨量資料，分別以日降雨量( $P_d$ )與日降雨沖蝕指數( $R_d$ )、月降雨量( $P_m$ )與月降雨沖蝕指數( $R_m$ )及年降雨量( $P_y$ )與年降雨沖蝕指數( $R_y$ )，透過迴歸分析進行不同降雨量與降雨沖蝕指數推估公式建立，分析結果如表 3 所示。從表中可看出，各降雨量所建立的公式皆達到非常顯著( $\alpha < 0.001$ )，表示不同降雨量與降雨沖蝕指數存在著顯著的關係，且皆達高度相關以上( $R^2 > 0.7$ )，日與月降雨量更達非常高度相關( $R^2 > 0.8$ ) (楊世瑩, 2008)。其中，以月降雨量( $P_m$ )與月降雨沖蝕指數( $R_m$ )兩者的迴歸方程式( $R_m = 0.87P_m^{1.42}$ )相關性最高( $R^2 = 0.92$ )；其次為日降雨量( $P_d$ )與日降雨沖蝕指數( $R_d$ )的迴歸方程式( $R_d = 0.66P_d^{1.60}$ ,  $R^2 = 0.83$ )；年降雨量( $P_y$ )與年降雨沖蝕指數( $R_y$ )的迴歸方程式( $R_y = 1.52P_y^{1.29}$ )相關性最低( $R^2 = 0.75$ )。在標準誤差部分，以日降雨量最小(Intercept=0.036,  $P=0.014$ )；其次為月降雨量(Intercept=0.091,  $P=0.019$ )；以年降雨量為最大(Intercept=1.169,  $P=0.097$ )。

表 3 不同降雨量與降雨沖蝕指數之迴歸分析

**Table 3 Regression analyses of rainfall erosivity under different rainfall amount( $P_d$ ,  $P_m$ ,  $P_y$ )**

不同降雨量	Non-linear regression model		F	Standard error	
	Equation	R <sup>2</sup>		Intercept	P(d, m, y)
日降雨量( $P_d$ )	$R_d = 0.66P_d^{1.60}$	0.83***	12670.4	0.036	0.014
月降雨量( $P_m$ )	$R_m = 0.87P_m^{1.42}$	0.92***	5322.7	0.091	0.019
年降雨量( $P_y$ )	$R_y = 1.52P_y^{1.29}$	0.75***	177.1	1.169	0.097

註：\*\*\*表 $\alpha < 0.001$ 。

### 3.3 不同降雨量年降雨沖蝕指數之迴歸方程式適用性分析

依據本研究建立不同降雨量之迴歸方程式，進行各雨量站年降雨沖蝕指數推估。並採用均方根誤差與平均絕對誤差百分比，分析各雨量站實際年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )與日、月、年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 與  $R_y^{***}$ )的誤差值，分析結果如表 4 所示。從表中可看出，隘寮溪集水區 6 個雨量站中，在實際年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )部分，瑪家雨量站為最大(64926 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，其次為尾寮山雨量站(61679 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)；在日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ )部分，瑪家雨量站為最大(59213 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，其次為尾寮山雨量站(56096 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)；在月降雨量估算年平均降雨沖蝕指數( $R_y^{**}$ )部分，古夏雨量站為最大(75928 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，其次為尾寮山雨量站(54687 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)；在年降雨量估算年平均降雨沖蝕指數( $R_y^{***}$ )部分，尾寮山雨量站為最大(43665 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，其次為瑪家雨量站(43028 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)。此外，利用誤差分析探討三種降雨量所建立的迴歸方程式之適用性，在均方根誤差部分，以日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數的誤差值(Mean=5359, CV=0.48)，比月降雨量與年降雨量估算的誤差值(Mean =12878, CV=1.09; Mean=12946, CV=0.53)來的小。此結果顯示，利用均方根誤差探討誤差值，以日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數顯示較佳，在 6 個雨量站中佔 3 個(50.0%)。在平均絕對誤差百分比部分，以日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數的誤差值(Mean=12, CV=0.63)，比月降雨量與年降雨量估算的誤差值(Mean=30, CV=1.38; Mean=25, CV=0.35)來的小。此結果顯示，利用誤差百分比分析誤差值，以日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數顯示較佳，誤差值小於 10 % 共有 4 個雨量站(尾寮山、上德文、阿禮與瑪家)，佔 66.7%。

綜合上述分析結果顯示，利用日降雨量( $P_d$ )與日降雨沖蝕指數( $R_d$ )的迴歸方程式，推估隘寮溪集水區 6 個雨量站的年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ )，其推估值與實際值最為相近，優於月降雨量與年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數( $R_y^{**}$ 、 $R_y^{***}$ )。

表 4 各雨量站年平均降雨沖蝕指數誤差分析

**Table 4 Comparison of the estimated R factor evaluated by the previous regression equations with the actual R factor.**

雨量站	$R_y$	$R_y^*$	$R_y^{**}$	$R_y^{***}$	RMSE*	RMSE**	RMSE***	MAPE*	MAPE**	MAPE***
尾寮山	61679	56096	54687	43665	5583	6992	18014	9	11	29
上德文	54945	50941	44740	40850	4004	10205	14095	7	19	26
阿禮	35257	36339	36285	31349	1082	1028	3908	3	3	11
古夏	35280	27524	75928	28922	7756	40648	6358	22	115	18
三地門	42442	34423	34828	29041	8019	7614	13401	19	18	32
瑪家	64926	59213	54146	43028	5713	10780	21898	9	17	34
Max	64926	59213	75928	43665	8019	40648	21898	22	115	34
Min	35257	27524	34828	28922	1082	1028	3908	3	3	11
Mean	49088	44089	50102	36142	5359	12878	12946	12	30	25
CV	0.27	0.30	0.30	0.20	0.48	1.09	0.53	0.63	1.38	0.35

[ $R_y$ ] Actual annual mean R factor using Wischmeier *et al.* (1978)

\* Estimated annual mean R factor using daily rainfall model. ( $R_d = 0.66P_d^{1.60}$ )

\*\* Estimated annual mean R factor using monthly rainfall model. ( $R_m = 0.87P_m^{1.42}$ )

\*\*\* Estimated annual mean R factor using annual rainfall model. ( $R_y = 1.52P_y^{1.29}$ )

### 3.4 不同降雨量年平均降雨沖蝕指數之空間分布

本研究依據 6 個雨量站的實際年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )與日、月、年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 與  $R_y^{***}$ )，利用 ArcGIS 分別繪製隘寮溪集水區年平均降雨沖蝕指數空間分布圖，如圖 2 所示。從圖中可出，日降雨量(2b)與實際值所繪製的年平均降雨沖蝕指數(2a)空間分布最為相似；月降雨量(2c)與實際值所繪製的年平均降雨沖蝕指數(2a)空間分布最不相似；年降雨量(2d)與實際值所繪製的年平均降雨沖蝕指數(2a)空間分布雖然相近，但估計值與實際值差距較大。

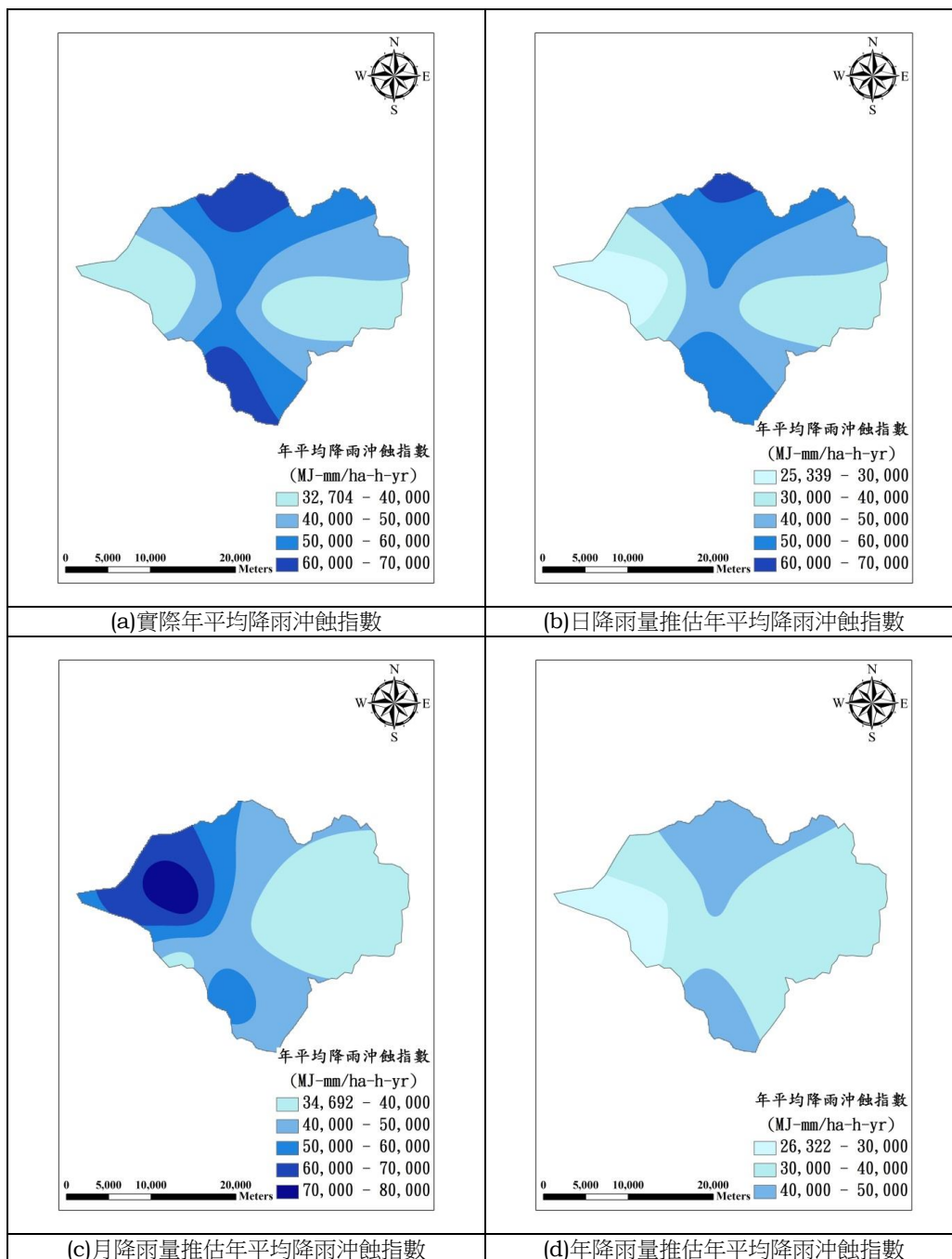


圖 2 不同降雨量年平均降雨沖蝕指數之空間分布

Fig.2 Spatial distributions of mean annual rainfall erosivity estimated under different rainfall amount.



## 四、結 論

本研究以隘寮溪集水區為研究區域，採用集水區內 6 個雨量站 2002-2011 年的 10 分鐘雨量資料，計算出各雨量站單場有效降雨事件，並分別以日降雨量( $P_d$ )與日降雨沖蝕指數( $R_d$ )、月降雨量( $P_m$ )與月降雨沖蝕指數( $R_m$ )及年降雨量( $P_y$ )與年降雨沖蝕指數( $R_y$ )，進行不同降雨量年降雨沖蝕指數推估公式之建立。文中採用均方根誤差(RMSE)與平均絕對誤差百分比(MAPE)，分析不同降雨量推估年降雨沖蝕指數迴歸方程式之適用性。研究成果說明如下：

1. 隘寮溪集水區內 6 個雨量站中，單場有效降雨事件共分析出 2266 場。6 個雨量站單場累積雨量最大值，皆發生在 2009 年莫拉克颱風期間，以尾寮山雨量站所分析的單場降雨量為最大 2969.0 mm。單場降雨沖蝕最大值發生於尾寮山與上德文雨量站，皆在 2009 年莫拉克颱風期間，分別為 107675 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> 與 70726 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>。
2. 利用迴歸分析進行日、月及年三種不同降雨量與降雨沖蝕指數推估公式之建立，結果顯示不同降雨量與降雨沖蝕指數存在著非常顯著的關係( $\alpha < 0.001$ )，且皆達高度相關以上( $R^2 > 0.7$ )。利用均方根誤差與平均絕對誤差百分比，探討各雨量站日、月、年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數( $R_y^*$ 、 $R_y^{**}$ 與  $R_y^{***}$ )之適用性結果顯示，均方根誤差部分，以日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數較佳，在 6 個雨量站中佔 3 個(50.0%)。平均絕對誤差百分比部分，也以日降雨量估算年平均降雨沖蝕指數較佳，誤差值小於 10 % 共有 4 個雨量站(尾寮山、上德文、阿禮與瑪家)，佔 66.7%。
3. 利用實際年平均降雨沖蝕指數( $R_y$ )與日、月、年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數所繪製的隘寮溪集水區年平均降雨沖蝕指數等值空間分布圖中看出，採用日降雨量推估繪製的年平均降雨沖蝕指數之空間分布情形與實際值最為相近。
4. 本研究結果可提供缺乏短延時降雨資料地區之年降雨沖蝕指數推估之參考依據。

## 致 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會提供研究經費(NSC102-2625-M-020-002)，以利本研究順利進行，謹此致謝。

### 符號表

$P_d$ =日降雨量(mm)

$P_m$ =月降雨量(mm)

$P_y$ =年降雨量(mm)

$R_j$ =單場降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

$R_d$ =日降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

$R_m$ =月降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

$R_y$ =實際年平均降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)

$R_y^*$ =日降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)

$R_y^{**}$ =月降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)

$R_y^{***}$ =年降雨量所推估的年平均降雨沖蝕指數(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)

RMSE\*=  $R_y^*$ 與  $R_y$  之均方根誤差

RMSE\*\*=  $R_y^{**}$ 與  $R_y$  之均方根誤差

RMSE\*\*\*=  $R_y^{***}$ 與  $R_y$  之均方根誤差

MAPE\*=  $R_y^*$ 與  $R_y$  之平均絕對誤差百分比

MAPE\*\*= $R_y^{**}$ 與  $R_y$  之平均絕對誤差百分比

MAPE\*\*\*= $R_y^{***}$ 與  $R_y$  之平均絕對誤差百分比

## 參考文獻

1. 行政院農委會水土保持局（2006），「水土保持手冊」。
2. 范正成、楊智翔、劉哲欣（2009），「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，40(2): 113-121。
3. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲（2004），「土壤流失量估算手冊」，國立屏東科技大學。
4. 俞俊賓（2008），「曾文水庫集水區年降雨沖蝕指數與年降雨量關係之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
5. 胡續禮、姜小三、楊樹江、潘劍君、高太成（2006），「利用日雨量模型進行伏山牛山區降雨侵蝕力的初步研究」，水土保持研究，13(3): 195-197。
6. 章文波、謝雲、劉寶元（2002），「利用日雨量計算降雨侵蝕力的方法研究」，地理科學，22(6): 705-711。
7. 黃俊德（1979），「台灣降雨沖蝕指數之研究」，中華水土保持學報，10(1): 127-142。
8. 楊文仁、范正成、張于漢（2007），「氣候變遷對台灣北部地區土壤沖蝕有效降雨事件之影響」，農業工程學報 53(1): 1-12。
9. 楊世瑩（2008），「SPSS 統計分析實務-第 II 版」，旗標出版社，臺北市。
10. 楊斯堯、詹錢登、黃文舜、曾國訓（2010），「運用時雨量推估降雨沖蝕指數」，中華水土保持學報，41(3): 189-199。
11. 盧光輝（1999），「降雨沖蝕指數之修訂」，中華水土保持學報，30(2): 87-94。
12. 盧昭堯、蘇志強、吳藝昀（2005），「台灣地區年等降雨沖蝕指數圖之修訂」，36(2): 159-172。
13. Angulo-Martínez, M, and Beguería, M(2009), "Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin," *Journal of Hydrology*, 379:111-121.
14. Bagarello, V., and D'Asaro, F.(1994), "Estimation single storm erosion index," *Transaction of the ASAE*, 37(3):785-791.
15. Blanco, A.C., and Nadaoka, K.(2006), "A comparative assessment and estimation of potential soil erosion rates and patterns in Laguna Lake watershed using three models: towards development of an erosion index system for integrated watershed-lake management," *Symposium on Infrastructure Development and the Environment*, University of the Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines, pp.1-12.
16. Brown, L.C., and Foster, G.R.(1987), "Storm erosivity using idealized intensity distributions," *Transaction of the ASAE*, 30:379-386.
17. Capolongo, D, Diodato, N, C.M. Mannaerts, Piccarreta, M, and R.O. Strobl.(2008), "Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata," *Journal of Hydrology*, 356:119-130.
18. Cooke R. U., and Doornkamp J. C.(1990), "Geomorphology in Environmental Management," (Oxford University Press, Oxford).
19. Elsenbeer H D, and Classel W T.(1993), "A dailty rainfall erosivity model for Water Amazonia," *Soil and Water Conservation*, 48(5):705-711.
20. Eiumnoh, A.(2000), "Integration of Geographic Information Systems (GIS) and Satellite

- Remote Sensing (SRS) for Watershed Management,” Technical Bulletin 150. Food & Fertilizer Technology Center, Taiwan.
21. Funnpheng, P., Patinavin, S., Mekpaiboonwatana, S., and Pramojane, P.(1991), “Application of remote sensing and GIS for appraisal of soil erosion hazards,” In: Proceedings of the Meeting on Conservation and Sustainable Development. Asian Institute of Technology, Khao Yai National Park, Thailand, pp. 77-91.
  22. Hartcher, M.G., Post, D.A., and Kinsey-Henderson, A.E.(2005), “Uncertainty in modelling the sources and sinks of suspended sediment in the Mae Chaem catchment, Thailand,” *The 2005 International Conference on Simulation & Modeling (SIMMOD)*, Bangkok, Thailand.
  23. Lee Joon-Hak, and Heo Jun-Haeng(2011), “Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea,” *Journal of Hydrology*, 409:30-48.
  24. Lo, A., EI-Swaify, S.A., Dangler, E.W., and Shinshiro, L.(1985), “Effectiveness of EI<sub>30</sub> as an erosivity index in Hawaii,” *Soil erosion and conservation*. In: EI-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C., Lo, A., (Eds.), Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa, pp. 384–392.
  25. Jung, P., Ko, M., Im, J., Um, K., and Choi, D.(1983), “Rainfall Erosion factor for estimating soil loss,” *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 16(2): 112-118.
  26. Mannaerts, C.M., and Gabriels, D.(2000), “Rainfall erosivity in Cape Verde,” *Soil and Tillage Research*, 55:207-212.
  27. Merritt, W.S.(2002), “Biophysical Considerations in Integrated Catchment Management: A Modelling System for Northern Thailand,” Doctor in Philosophy Thesis. Australian National University, Australia.
  28. Myint, S.W., Thongthap, C., and Eiumnoh, A.(1997), “Soil nutrient depletion modeling using remote sensing and GIS: a case study in Chonburi, Thailand,” *The 18th Asian Conference on Remote Sensing*, 20–25 October, 1997, Kuala Lumpur, Malaysia, R51–R53.
  29. Nuno de Santos Loureiro, and Miguel de Azevedo Coutinho(2001), “A new procedure to estimate the RUSLE EI<sub>30</sub> index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal,” *Journal of Hydrology*, 250:12-18.
  30. Renard, K.G., and Freimund, J.R.(1994), “Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE,” *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
  31. Richardson C W, Foster G R, and Wright D A.(1983), “Estimation of erosion index from daily rainfall amount,” *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 26:153-157.
  32. Shrestha, R. P., Eiumonoh, A., and Baimoung, S.(1996), “Soil erosion assessment and its policy implications: a case study of RS and GIS applications in Uthai Thani, Thailand,” *The 17th Asian Conference on Remote Sensing in Sri Lanka*.
  33. Sulistioadi, Y.B.(2004), “Identification of High Conservation Value Forest (HCVF) related to Soil and Water Conservation: The Use of Remote Sensing and GIS to Support Forest Certification in Indonesia,” The Master Degree Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, p. 31.
  34. Thang, C.C., Eiumnoh, A., Shivakoti, G.P., and Clemente, R.(2005), “Spatial modeling for land degradation assessment using remotely sensed data and geographic information system: a case study of Daungnay Watershed, Magway District, Myanmar,” In: Conference Proceedings: Map Asia.
  35. Toxopeus, A.G.(1997), “Cibodas: the erosion issue,” In: van Westen, C.J., Saldaña

- López, A., Uria cornejo, S.P., Chavez Ardanza, G. (Eds.), ILWIS 2.1 for Windows: Applications guide: the Integrated Land and Water Information System. Enschede: ITC, 1997, pp. 307–321 (Chapter 23).
36. Wischmeier, W.H., and D. D. Smith.(1958), “Rainfall energy and its relationship to soil loss.” Transactions American Geophysics Union 39, 285-291.
  37. Wischmeier. W. H, and D. D. Smith.(1978), “Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture,” *Agriculture Handbook*, 537.
  38. Yu, B. and C. J. Rosewell (1996), “An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales,” *Austral. J. Soil Res.*, 34:139-152.