

## 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

范正成<sup>[1]</sup> 楊智翔<sup>[2]</sup> 劉哲欣<sup>[3]</sup>

**摘 要** 通用土壤流失公式 (USLE) 為現今最常被應用於估算土壤沖蝕量的模式之一。公式中降雨沖蝕指數, 在台灣地區常採用黃俊德 (1979) 所繪製之台灣年降雨沖蝕指數等值圖。然而, 隨著氣候變遷之影響, 此等值圖是否依然能代表現今亦或未來之變化, 實存在相當之不確定性。緣此, 本研究蒐集中央氣象局台北站之歷年雨量資料 (1961~2007 年), 並利用月雨量、月降雨強度與月降雨沖蝕指數間之關係, 以迴歸分析法建立台北地區降雨沖蝕指數推估公式。結果顯示, 此一模式確能較為準確的模擬降雨沖蝕指數之變化情形, 並能提供較為可靠的預測能力。其後利用此一公式計算缺乏雨量資料年份之年降雨沖蝕指數, 進行歷年年降雨沖蝕指數之變化趨勢分析。結果顯示, 近十年來台北地區之年降雨沖蝕指數, 係呈現大幅成長的趨勢, 且各階段年降雨沖蝕指數之變異性亦顯著增加。綜上觀之, 台北地區之年降雨沖蝕指數, 可能已有趨向極端化之現象產生。

**關鍵詞:** 土壤沖蝕, 通用土壤流失公式, 降雨沖蝕指數, 氣候變遷, 月降雨量, 月降雨強度。

### Establishment of the assessment model of the rainfall erosivity and their annual variation trend in Taipei

Jen-Chen Fan<sup>[1]</sup> Chih-Hsiang Yang<sup>[2]</sup> Che-Hsin Liu<sup>[3]</sup>

**ABSTRACT** The Universal Soil Loss Equation (abbreviated as USLE) is presently one of the most widely used models to evaluate soil erosion. The iso-erodent map of annual rainfall erosivity index in Taiwan proposed by Huang (1979) has been used for years to assess the rainfall erosivity factor (R) in USLE. Along with the impact by climate change, it is not certain that the map can reflect the variations at present and in the future. Therefore, in this study, the rainfall data (from 1961 to 2007) of the Taipei area were collected from the Taipei station of the Central Weather Bureau. Aside from this, the relationships among monthly rainfall amount, monthly rainfall intensity and monthly rainfall erosivity were analyzed to establish the equation for evaluating the rainfall erosivity in Taipei. The results showed that this model could simulate the variation of rainfall erosivity more accurately and provide a better prediction. Then the proposed equation was used to calculate the annual rainfall erosivity of the years in which the rainfall data were missing, and to analyze the variation trends of annual rainfall erosivity. From the results, it showed that in the

- 
- [1] 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授 (通訊作者)  
Professor, Graduate Institute of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University 1, Sec. 4, Roosevelt Rd. Taipei, Taiwan, 10617, R.O.C. (Corresponding Author)  
E-mail: jcfan@ntu.edu.tw
- [2] 國立台灣大學生物環境系統工程所博士班學生  
Doctoral graduate student, Graduate Institute of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University 1, Sec. 4, Roosevelt Rd. Taipei, Taiwan, 10617, R.O.C.
- [3] 國立台灣大學生物環境系統工程所博士候選人  
Ph.D. candidate, Graduate Institute of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University 1, Sec. 4, Roosevelt Rd. Taipei, Taiwan, 10617, R.O.C.

past ten years both the annual rainfall erosivity and their coefficient of variation in each period in Taipei increased greatly. It might be concluded that the annual rainfall erosivity in Taipei tended to have extreme values.

**Key Words:** soil erosion, universal soil loss equation, rainfall erosivity, climate change, monthly rainfall amount, monthly rainfall intensity.

## 一、前言

通用土壤流失公式 (Universal Soil Loss Equation, USLE) 係為現今最為廣泛使用於評估土壤沖蝕量之模式。公式中的降雨沖蝕指數 (Rainfall Erosivity) 或稱降雨逕流因子 (Rainfall and Runoff factor)，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。Wischmeier and Smith (1978) 亦將其定義為降雨總動能 (total kinetic energy of rainfall, E) 與該場降雨之最大 30 分鐘降雨強度 (the maximum 30-minute rainfall intensity,  $I_{30}$ ) 之乘積，即  $R=E \times I_{30}$ 。

依據降雨沖蝕指數之定義，欲計算某一地區之降雨沖蝕指數，至少需有時距 30 分鐘之雨量資料。同時，盧光輝 (1999) 指出需以較長統計年數之資料進行計算，才能降低年與年之間的變異性並提供較為準確及應用性高的土壤流失評估。然而，在許多較為偏遠之地區，歷史雨量資料常缺漏或遺失；除此之外，在 2000 年以前，台灣許多地區並無時雨量以下的數位雨量記錄資料。故欲計算某一地區之歷史降雨沖蝕指數有其困難性存在。因此，目前國內一般在規劃調查及工程設計時，多採用黃俊德 (1979) 推估之台灣年降雨沖蝕指數等值圖，做為計算土壤沖蝕量之依據。然而，隨著氣候變遷之影響，台灣地區未來的降雨特性，包括降雨頻率、分布及強度等均將隨之改變 (吳志剛等，2000)，這些變化將對土壤沖蝕產生一定程度的影響，且影響最大的即為降雨沖蝕指數 (Zhang *et al.*, 2005)。而楊文仁 (2006) 之研究亦顯示，氣候變遷對未來台灣地區的降雨沖蝕指數有相當顯著之影響。

鑒於上述，目前國內所採用的台灣地區年降雨沖蝕指數等值圖是否依然能代表現今亦或未來之變化，實存在著相當之不確定性。是故，如何建立一推估公式能簡易的利用易取得的降雨參數，藉以計算年降雨沖蝕指數，且能合理、具體的描述降雨參數與降雨沖蝕指數之關係，以提供後續相關研究或推估土壤流失量之用，實為一極為重要之課題。

以往降雨沖蝕指數推估公式的研究，Elsenbeer *et al.*, (1993)、Yu *et al.*, (1996) 及盧昭堯等 (2005) 皆曾利用歷年的降雨紀錄，成功建立年降雨沖蝕指數與年降雨量之關係式，如下式。

$$R = aP^b \quad (1)$$

其中，R 為年降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-year)

P 為年降雨量 (mm)

a、b 為待定係數

在式 1 中，需以歷史年降雨沖蝕指數及年雨量資料為基礎，配合迴歸分析之方法，計算出係數 a、b。其後只需將欲計算地區的年雨量帶入公式，即可推估出該地區之年降雨沖蝕指數。然而降雨沖蝕指數之原始定義中，其影響因子除降雨量多寡外，亦包含降雨強度。而從真實情況而言，在相同雨量之前提下，強度較大的雨場對土壤產生之衝擊力亦較大。因此，若僅以降雨量推估降雨沖蝕指數，是有其不足之處。緣此，本研究期能以歷年降雨量及降雨強度資料為基礎，建立一應用方便、準確性及可靠性高之降雨沖蝕指數推估公式。

## 二、研究方法

本研究以中央氣象局台北氣象站 1961~2007 年的雨量資料，建立台北地區的降雨沖蝕指數推估公式。其中 1961~1990 年係採用楊智翔 (2007) 所數化且經驗證後之雨量資料；1991~2000 年則以同樣之數化流程及方法進行數化之工作；最後 2001~2007 年為中央氣象局所提供之分鐘雨量資料。以上述雨量資料為基礎，首先判讀出歷年的有效降雨事件，並計算其降雨沖蝕指數後，再整理出歷年每月的降雨量、降雨強度及降雨沖蝕指數，做為建立公式之基礎資料。最後依據前人研究 (Elsenbeer *et al.*, 1993; Yu *et al.*, 1996; 盧昭堯等，2005) 以乘冪函數配合迴歸分析之方式，建立台北地區降雨沖蝕指數的推估公式。此外，為分析有無加入降雨強度因子對模式模擬準確性之影響，第一種模式中僅採用降雨量推估降雨沖蝕指數，而第二種模式中則加入降雨強度因子，以

探討不同模式推估能力之差異。再者，利用建立完成之模式，將缺乏 5 分鐘原始資料年份的降雨沖蝕指數予以計算、補遺。最後則分析台北地區降雨沖蝕指數歷年變化之趨勢。整體研究流程如圖 1 所示，各階段之研究方法分別說明如下。

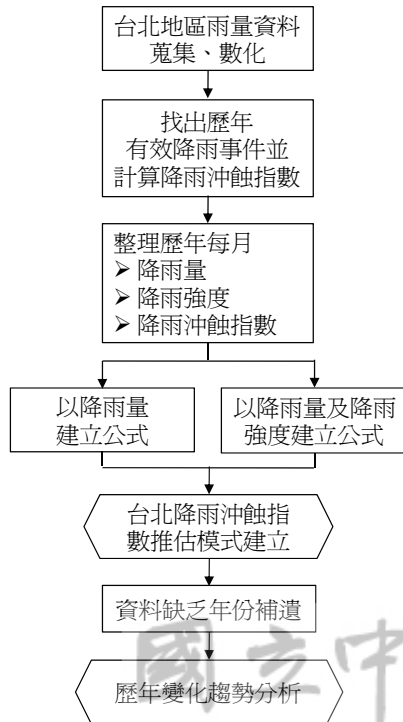


圖 1 研究流程

Fig.1 Flow chart of this study

### 1. 研究區域概述

台北地區位處台灣北部，屬副熱帶季風型氣候，在夏季時主要受西南季風影響，而冬季則受東北季風之影響。此兩種季風皆來自海上，均帶來豐沛之水氣，因此台北地區幾乎全年有雨，並無較明顯的乾旱期。

本研究採用中央氣象局台北氣象站之雨量資料，其地理位置示意如圖 2、基本資料如表 1 所示。根據歷年（1961~2007）雨量資料的統計結果，台北地區年平均雨量為 2,225mm，而歷年月平均雨量分布情形如圖 3。顯示台北地區較明顯的豐水期出現在 5~9 月，月平均降雨量皆在 200mm 以上，其中尤以 6 月及 9 月之雨量超過 300mm 為最多；而月降雨強度則是以 6~9 月為最高，皆在 3mm/hr 以上。說明台北地區之高強度降雨主要深受 6 月的梅雨季及夏、秋之際侵襲的颱風所影響。

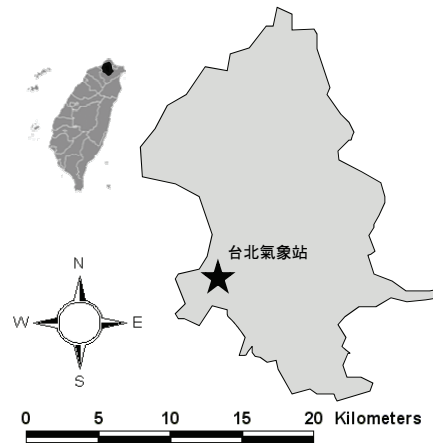


圖 2 台北氣象站地理位置示意圖

Fig.2 Location of Taipei weather station

表 1 台北氣象站基本資料

Table 1 Basic information about Taipei weather station

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| 站名   | 台北                                 |
| 站號   | 46692                              |
| 海拔高度 | 5.34 公尺                            |
| 位置   | 東經：21°30'24.15"<br>北緯：25°02'22.62" |
| 種類   | 二等氣象站                              |
| 設站日期 | 1896.08.10                         |

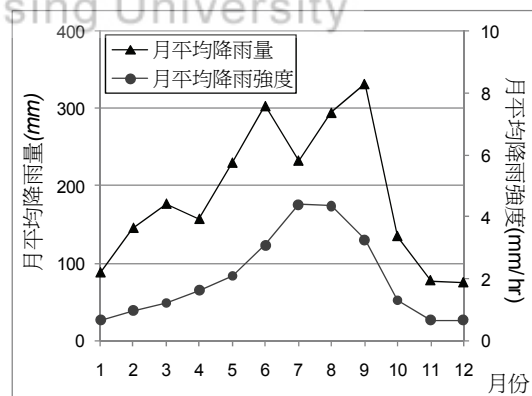


圖 3 台北地區歷年月平均降雨量及降雨強度

Fig.3 Average monthly rainfall and rainfall intensity over the year in Taipei

### 2. 歷史降雨沖蝕指數計算

本研究歷史降雨沖蝕指數係根據 Wischmeier

and Smith (1978) 之定義進行計算 ( $R=E \times I_{30}$ )。首先由本研究所蒐集及數位處理之雨量資料，依照下述基準，找出台北地區歷年有效降雨事件：(1)一場降雨雨量大於 12.7mm 且與該場降雨間隔 6 小時以上無降雨、(2)一場降雨雨量小於 12.7mm，但在 15 分鐘內達 6.35mm。判讀出歷年有效降雨事件後，找出每場降雨事件之最大 30 分鐘降雨強度 ( $I_{30}$ )；而在降雨動能計算之部分，係採用盧昭堯等 (2005) 所推估之台北地區降雨動能公式 (如式 2-a)，將其轉換為公制單位，如式 2-b。

$$E = 745.58 + 350.51 \times \log I \quad \text{英制 (2-a)}$$

其中，E 為單位降雨動能 (ft-ton/ac-in)

I 為降雨強度 (in/hr)

$$E = 0.067 + 0.0925 \times \log I \quad \text{公制 (2-b)}$$

其中，E 為單位降雨動能 (MJ/ha-mm)

I 為降雨強度 (mm/hr)

如上述流程計算台北地區歷年 (1961~2007) 之年降雨沖蝕指數，其中有 11 年的原始雨量圖紙缺漏過多或遺失 (包括 1961、1968~1970、1984、1988、1992、1993 及 1996~1998 年)。因此，共計 36 年的歷年年降雨沖蝕指數資料如圖 4 所示。圖中顯示每一年間的降雨沖蝕指數皆有其變異性存在，並非呈現穩定的成長趨勢，然而從長時間的變化而言，確有明顯上升之趨勢。

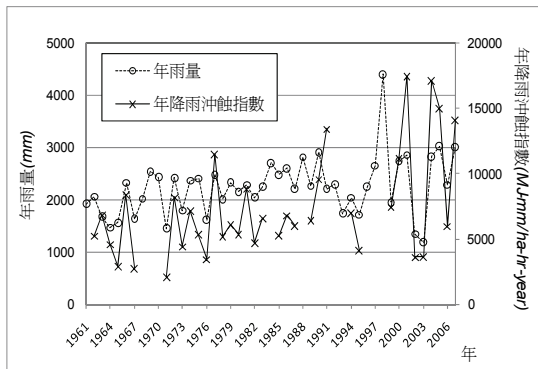


圖 4 台北地區年雨量與年降雨沖蝕指數變化圖

Fig.4 Variations of annual rainfall and annual rainfall erosivity in Taipei

### 3. 降雨沖蝕指數推估模式

由圖 4 中年降雨量與年降雨沖蝕指數之關係，顯示兩者之間確有一定程度的相關性存在。但不可否認依然存在著不同程度之變異，如 1989 年與 1991 年的年降雨量分別為 2,269、2,216mm，兩者僅相差 53mm (即相差率為 2.3%)。但年降雨沖蝕指數分別為 6,434、13,415 MJ-mm/ha-hr-year，相差高達 6,981 MJ-mm/ha-hr-year (即相差率為 108.5%)，其相差率定義為  $(|1991 \text{ 年} - 1989 \text{ 年}| / 1989 \text{ 年}) \times 100\%$ 。

由此可知，若僅用年降雨量與年降雨沖蝕指數之關係建立推估公式，將使推估公式在預測能力上產生嚴重的誤差。故本研究在推估公式中，嘗試加入降雨強度的因子，期能增進模式之準確性。此外，為降低年與年之間的變異性，並且期使模式能推估月降雨沖蝕指數以應用於氣候變遷衝擊評估之中，藉以探討未來降雨沖蝕指數月分布型態。因此，本研究以歷年每月的資料為基礎，配合乘冪函數來進行模式之建立。式 3、4 分別為僅用雨量推估及加入降雨強度因子之推估公式。本研究利用下列兩種不同的公式進行模式之推估，藉以探討有無加入降雨強度因子對模式模擬準確性之影響。

$$R = \sum_{j=1}^{12} R_j = \sum_{j=1}^{12} a_1 (P_j)^{b_1} \quad (3)$$

$$R = \sum_{j=1}^{12} R_j = \sum_{j=1}^{12} a_2 (P_j \times I_j)^{b_2} \quad (4)$$

其中，j 為月份，j=1 至 12

R 為年降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-year)

$R_j$  為月降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-month)

$P_j$  為月降雨量 (mm)

$I_j$  為月降雨強度 (mm/hr)，係為月雨量除以月降雨延時之商數

$a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_2$ 、 $b_2$  為待定係數

在計算模式係數之前，需先檢驗原始資料之合理性，因在乘冪函數關係式中， $R_j$  項若為零，將使模式無法進行運算，故於本研究中先剔除月降雨沖蝕指數為零的月份資料，整理後將共計 387 組的資料分為兩組。一部份用以訓練模式係數 (1961~1999 年)，另一部份則用以驗證 (2000~2007 年)；而模式訓練及驗證階段之正確性，係以歷史值與模式推估值之均方根誤差 (root mean square error, RMSE) 做為標準 (如式 5)，均方根誤差越小即表示模式正確性越高。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_m - R_o)^2} \quad (5)$$

其中,  $R_m$  為模式推估之降雨沖蝕指數  
 $R_o$  為歷史降雨沖蝕指數  
 $n$  為資料組數

### 三、結果與討論

本研究旨在建立一推估較為準確, 且應用性高的降雨沖蝕指數推估模式。考量因素包括降雨沖蝕指數的原始定義及資料取得的便利性。由於以往台灣地區降雨沖蝕指數之推估, 主要皆是以降雨量為基礎進行計算(黃俊德, 1979、盧光輝, 1990 及盧昭堯等, 2005)。因此, 本研究以台北地區歷年月雨量、月降雨強度及月降雨沖蝕指數為基礎(歷史降雨沖蝕指數之計算方式如前述研究方法所示), 並利用兩種不同之模式(如式 3、4)分別建立台北地區降雨沖蝕指數推估公式, 藉以比較有無加入降雨強度因子對模式推估能力之影響。在降雨沖蝕指數推估模式建立後, 針對雨量資料缺漏之年份進行補遺。最後則針對台北地區歷年(1961~2007 年)降雨沖蝕指數變化情形進行趨勢分析, 以瞭解歷年變化趨勢。茲將兩部份之研究結果與討論分述如下所示。

#### 1. 降雨沖蝕指數推估模式建立

台北地區歷年每月的資料, 包括月降雨量、月降雨強度及月降雨沖蝕指數等, 共計 387 組。將 1961~1999 年的 297 組作為訓練階段, 用以計算模式係數; 而 2000~2007 年的 90 組係為驗證階段, 用以驗證模式預測之準確性。兩種模式迴歸分析的結果如圖 5, 而訓練及驗證階段的均方根誤差結果如表 2 所示。

模式 1 迴歸分析之結果顯示決定係數 ( $R^2$ ) 為 0.716, 而模式 2 之決定係數 ( $R^2$ ) 為 0.867, 顯示模式 2 確能較為準確的描述歷史降雨沖蝕指數變化之現象。而在訓練階段, 模式 1 與模式 2 的均方根誤差 (RMSE) 分別為 667 及 528, 雖結果亦是以模式 2 較佳, 但其差異並不顯著。而在模式驗證階段, 發現模式 1 的均方根誤差達到 1,234, 與訓練階段之相差率約 85.0%。說明模式 1 僅能描述 1961~1999 年間降雨量與降雨沖蝕指數之關係, 而非是能符合降雨沖蝕指數真實變化之物理現象。因此, 若實際用於預測或是鄰近地區的降雨沖蝕指數計算, 恐將產生極大之誤差; 而模式 2 在驗證階段的均方根誤差為 649, 與

訓練階段之相差率約 22.9%。說明模式 2 的預測能力相較於模式 1 而言, 預測之穩定性及準確性皆較高。  
 [註: 相差率係為 (|驗證-訓練|/訓練) × 100%]

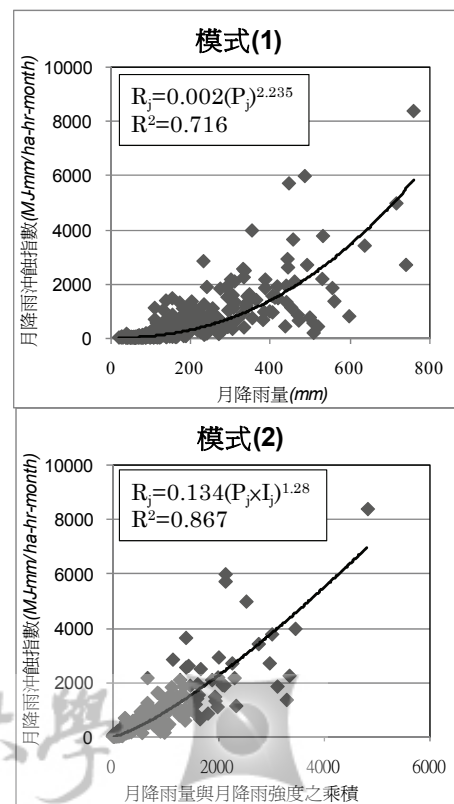


圖 5 兩種不同模式迴歸分析結果  
 Fig.5 Results of two models by using regression analysis

表 2 兩種推估模式均方根誤差結果  
 Table 2 Results of the RMSE obtained by using two models

| 模式 | RMSE           |                |
|----|----------------|----------------|
|    | 訓練 (1961~1999) | 驗證 (2000~2007) |
| 1  | 667            | 1234           |
| 2  | 528            | 649            |

在降雨沖蝕指數推估模式建立後, 將歷年的月降雨量及月降雨強度帶入模式中, 首先求得台北地區歷年月平均降雨沖蝕指數模擬值, 並與歷史月平均降雨沖蝕指數(係為 47 年各月之月降雨沖蝕指數平均值)進行比較, 結果如圖 6 所示。模式 1 之模擬結果顯示 6 至 9 月模擬值與歷史值之間皆有顯著之差異, 而歷

年每月平均之相差率高達 52.8%。而在模式 2 的部份，僅在 9 月有較為顯著之差異，歷年每月平均之相差率係為 17.9%。[註：相差率係為  $(| \text{模擬值} - \text{歷史值} | / \text{歷史值}) \times 100\%$ ]

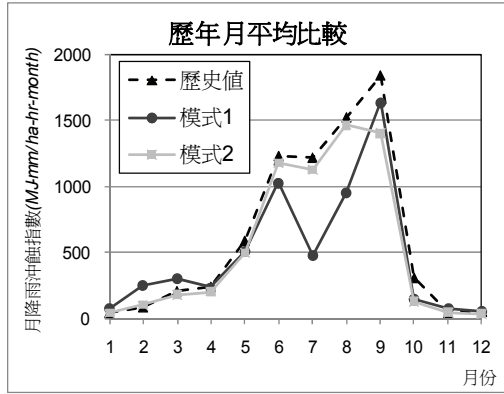


圖 6 歷史與模擬月平均降雨沖蝕指數比較

Fig.6 Comparison between the historical monthly rainfall erosivity and simulated monthly rainfall erosivity

整體而言，模式 2 模擬歷年月平均降雨沖蝕指數的能力明顯比模式 1 更佳，但在 9 月的部份，模擬值仍低於歷史值甚多。檢視歷年每月的原始數據後發現，9 月之降雨較為分散，且常發生較為極端的降雨事件。經計算月雨量標準偏差後亦發現 9 月的平均值為全年最高；因此，整月平均下來，可能將極端值的影響減低，造成模擬值較低之後果。

此外，研究亦將原始數據帶入模式中，求得年降雨沖蝕指數模擬值，並與歷史值相比較，結果如圖 7 所示。其中，模式 1 的模擬結果顯示，模擬值大多皆小於歷史值，每一年之平均差值達到 2,254 MJ-mm/ha-hr-year、平均相差率約 29.7%；而模式 2 的結果較為均勻的散佈於 1:1 直線的周圍，其平均差值為 1,720 MJ-mm/ha-hr-year、平均相差率約 23.7%。在歷年平均值的部份，歷史值為 7,342 MJ-mm/ha-hr-year，而模式 1、2 模擬之歷年平均值分別為 5,708、6,396 MJ-mm/ha-hr-year，結果亦是以模式 2 的模擬值與歷史值較為相近。

綜合上述，兩種模式的均方根誤差結果、月平均降雨沖蝕指數及年降雨沖蝕指數模擬結果均顯示，模式 2 不論在模擬準確性及預測能力可靠性之表現皆較模式 1 為佳。證明在降雨沖蝕指數推估模式中加入降雨強度因子，能更為準確的推估歷史降雨沖蝕指數。

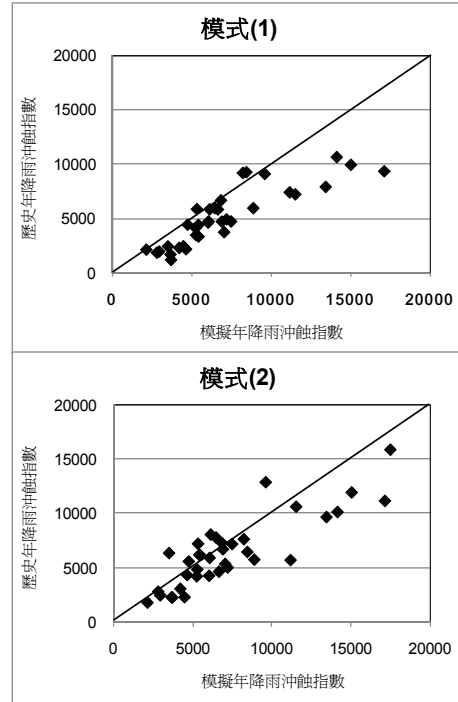


圖 7 歷史與模擬年降雨沖蝕指數比較

Fig.7 Comparison between the historical annual rainfall erosivity and simulated annual rainfall erosivity

若以模式 2 與前人研究(黃俊德, 1979、盧光輝, 1990 及盧昭堯等, 2005) 相比，最大差異之處即在台灣地區以往之降雨沖蝕指數推估公式，皆是以年為單位及以降雨量為基礎進行推估。而本研究所得之結果顯示，於降雨沖蝕指數推估模式中，加入降雨強度因子，將可提供更為準確且可靠之預測能力。同時以月為單位進行推估，更能進一步的探討歷年降雨沖蝕指數季節性之變化趨勢。故於缺乏短時距(30 分鐘)雨量資料的地區，即可應用模式 2 進行降雨沖蝕指數之推估，且模式 2 亦能應用於氣候變遷衝擊評估之中，以探討未來台北地區降雨沖蝕指數季節性之變化趨勢。

## 2. 歷年年降雨沖蝕指數變化趨勢分析

在歷年趨勢變化分析之部份，本研究採用 5 年移動平均線以評估歷年短期變化之趨勢；20 年移動平均線則展現中、長期變化趨勢。歷年年降雨沖蝕指數變化趨勢分析之結果如圖 8 所示。

以年降雨沖蝕指數之 5 年移動平均線而言，在 1988 年以前，大致呈現緩步上升之趨勢。但在 1992

年至 1996 年間急速下降, 其後又上升至 2001 年後再度下降。說明年降雨沖蝕指數的短期變化並非一致性的上升, 而是呈現較不穩定的變動趨勢。尤其是 1988~2007 年間, 年與年間的變動量較 1988 年以前增加許多。而 20 年移動平均線則是呈現較為穩定且逐步上升之趨勢。證明雖短期變化較不穩定, 但以中、長期而言, 台北地區的年降雨沖蝕指數還是呈現穩定增加之趨勢。

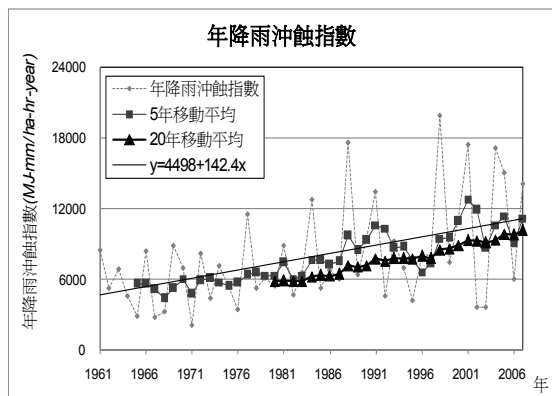


圖 8 歷年降雨沖蝕指數變化趨勢

Fig.8 Variation trend of the annual rainfall erosivity

鑒於上述, 台北地區歷年年降雨沖蝕指數, 以長期觀之, 係呈現增加之趨勢, 而短期之變化則較不穩定。因此, 為分析台北地區之年降雨沖蝕指數在受氣候變遷影響下, 是否有趨向極端化之現象。本研究將年降雨沖蝕指數分為 4 個層級 (categories), 分別計算歷年各層級發生之次數, 結果如表 3 所示。另將 1961~2007 年分為 3 個階段, 一為前期 (the early period, 即 1961~1976 年)、二為中期 (the medium period, 即 1977~1992 年)、最後則為後期 (the latter period, 即 1993~2007 年), 將各階段內於各層級發生次數予以統計, 並繪製結果如圖 9 所示, 表 4 則為歷年各階段年降雨沖蝕指數之統計結果。

表 3 顯示台北地區在過去 47 年間, 年降雨沖蝕指數發生機率最大的係為層級 2 (5,000~10,000 MJ-mm/ha-hr-year), 其次為層級 1 (0~5,000 MJ-mm/ha-hr-year), 合計發生次數達到 37 次、發生機率高達 78.7%。而大於 10,000 MJ-mm/ha-hr-year 的發生次數及機率分別僅為 10 次與 21.3%。

表 3 1961 至 2007 年年降雨沖蝕指數各層級發生次數統計一覽

Table 3 Statistical results of the occurrence numbers of the annual rainfall erosivity from 1961 to 2007 in each category

| 層級 | 範圍                       | 次數 (次) | 機率 (%) |
|----|--------------------------|--------|--------|
| 1  | $5,000 > R \geq 0$       | 12     | 25.5   |
| 2  | $10,000 > R \geq 5,000$  | 25     | 53.2   |
| 3  | $15,000 > R \geq 10,000$ | 5      | 10.6   |
| 4  | $R \geq 15,000$          | 5      | 10.6   |

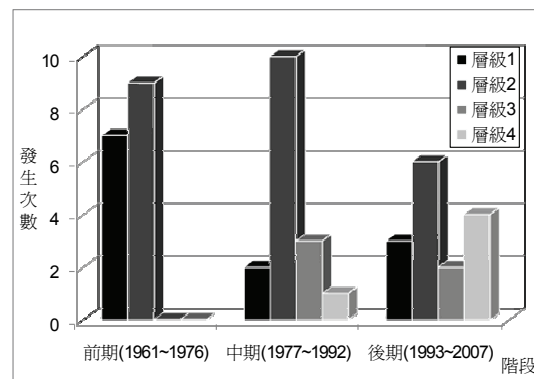


圖 9 前、中、後期年降雨沖蝕指數各層級發生次數  
Fig.9 Occurrence numbers of the annual rainfall erosivity of the early period, the medium period and the latter period in each category

表 4 1961~2007 年各階段年降雨沖蝕指數統計結果  
Table 4 Statistical results of annual rainfall erosivity from 1961 to 2007 in each period

| 階段             | 均值 (MJ-mm/ha-hr-year) | 標準差 (MJ-mm/ha-hr-year) | 變異係數 (%) |
|----------------|-----------------------|------------------------|----------|
| 前期 (1961~1976) | 5,570                 | 2,294                  | 41.2     |
| 中期 (1977~1992) | 8,180                 | 3,805                  | 46.5     |
| 後期 (1993~2007) | 10,138                | 5,350                  | 52.8     |

由圖 9 及表 4 觀之, 前期階段的年降雨沖蝕指數皆落於層級 1、2 之中, 顯示年與年間的變異性較小, 其變異係數約為 41.2%; 而中期與前期相比, 均值之增量約為 2,610 MJ-mm/ha-hr-year, 顯示中期之

年降雨沖蝕指數比起前期，已有增長之趨勢，且變異係數亦增加至 46.5%。但從中期階段之各層級發生次數發現，有 10 年的年降雨沖蝕指數落於層級 2 之中，因此中期年降雨沖蝕指數之變異，雖較前期為大，但極端化之趨勢不甚顯著；若以後期階段之年降雨沖蝕指數相較於前期而言，均値之增量約為 4,568 MJ-mm/ha-hr-year，變異係數提升至 52.8%，且各層級之發生次數亦較為分散。特別在過去 47 年間，層級 4 之發生次數僅為 5 次，卻有 4 次皆集中在後期階段，而在層級 1 亦發生有 3 次之多，顯示後期之年降雨沖蝕指數已有趨向極端化之趨勢。因此，從各階段年降雨沖蝕指數統計結果及各層級發生次數之結果顯示，近年來台北地區隨著氣候變遷之影響，各階段年降雨沖蝕指數之均値係呈現大幅成長的趨勢，且變異性亦顯著增加，而以後期階段而言，可能已有極端化之現象產生。

#### 四、結 論

本研究為建立台北地區降雨沖蝕指數之推估公式及分析其歷年變化之趨勢，蒐集中央氣象局台北站之歷年雨量資料（1961~2007 年）。經數化、整理後共計 387 組的資料（每月一筆）用以建立台北地區降雨沖蝕指數之推估公式。其後利用此一公式計算缺乏雨量資料年份（計缺 11 年）之年降雨沖蝕指數，並分析台北地區歷年年降雨沖蝕指數之變化趨勢。茲將研究成果分述如下。

1. 由兩種不同之降雨沖蝕指數推估公式進行迴歸分析之結果顯示，模式 2（考慮降雨量及降雨強度因子）在訓練及驗證階段的均方根誤差結果皆較模式 1（僅考慮降雨量因子）佳，且模式 2 模擬之月平均降雨沖蝕指數及歷年年降雨沖蝕指數亦較為準確。證明在模式中加入降雨強度因子以推估降雨沖蝕指數，其模擬準確性及預測能力可靠性的表現皆較僅使用降雨量之推估公式為佳。同時亦能較為合理的描述降雨沖蝕指數變化之現象。若與臺灣地區以往之年降雨沖蝕指數相比，模式 2 更能進一步的探討歷年降雨沖蝕指數季節性之變化趨勢，以應用於未來氣候變遷衝擊評估之中。
2. 台北地區歷年年降雨沖蝕指數的變化趨勢分析，由 5 年及 20 年移動平均線顯示，雖短期間之變化程度較大，但以中、長期而言，係呈現穩定成長之趨勢。此外，從各階段年降雨沖蝕指數統計結果及各層級發生次數之結果顯示，近年來台北地區的年降

雨沖蝕指數隨著氣候變遷之影響，各階段之均値係呈現大幅成長的趨勢，且變異性亦顯著增加。綜上觀之，台北地區之年降雨沖蝕指數，可能已有趨向極端化之現象產生。

#### 五、後續建議

本研究成功的以台北站歷年雨量記錄建立台北地區月降雨沖蝕指數推估公式。但降雨沖蝕指數之推估，深受區域降雨型態之影響。故此一公式在應用上有其地域性限制，僅能使用於鄰近台北或其他氣候型態相似之地區。未來或可沿用本研究之成果，持續蒐集台灣其他地區的歷年雨量資料，藉以建立台灣各地之降雨沖蝕指數推估公式。進而完整的修訂台灣地區年降雨沖蝕指數圖，以提供各相關研究及工程施作之參採。

#### 六、誌 謝

本文承國家科學委員會計畫「未來氣候變遷對台灣地區短中長期降雨沖蝕指數之影響分析（一）」提供研究經費之補助，使本研究能順利完成，特此致上誠摯的感謝。

#### 參考文獻

1. 吳志剛、楊道昌、游保杉（2000），「氣候變遷對高屏溪流域水資源衝擊探討」，第十一屆水利工程研討會，p81-83，台北市。
2. 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):127-144。
3. 楊文仁（2006），「氣候變遷對台灣地區降雨沖蝕指數之影響」，國立台灣大學生物環境系統工程所博士論文。
4. 楊智翔（2007），「應用 CLIGEN 氣候生成模式模擬台灣北部地區有效降雨事件及其驗證」，國立台灣大學生物環境系統工程所碩士論文。
5. 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。
6. 盧昭堯、蘇志強、吳藝昀（2005），「台灣地區年降雨沖蝕指數圖之修訂」，中華水土保持學報，36(2): 159-172。
7. Elsenbeer, H., D.K. Cassel and W. Tinner (1993), "A daily rainfall erosivity model for Western Amazonia," *J. Soil and Wat. Conserv.*, 48(5): 439-444.



8. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978), *Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning*. USDA ARS. Handbook 537. USDA Science and Education Administration. pp.58.
9. 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.
10. Zhang, G. H., M. A. Nearing and B. Y. Liu

(2005), "Potential effects of climate change on rainfall erosivity in the Yellow River Basin of China," *Trans. ASAE* 48(2): 511-51.

---

2008年11月10日 收稿

2008年12月18日 修正

2009年1月7日 接受

(本文開放討論至2009年12月31日)

