

專 論

氣候變遷對台灣北部地區土壤沖蝕
有效降雨事件之影響

**Effects of Climate Change on Effective Rainfall
Events for Soil Erosion in Northern Taiwan**

台灣大學生物環境系統
工程學系
博士候選人

楊文仁

Wen-Jen Yang

台灣大學生物環境系統
工程學系
教授

范正成*

Jen-Chen Fan

台灣大學生物環境系統
工程學系
碩士班研究生

張于漢

Yu-Han Chang

摘 要

本文蒐集台灣北部地區主要氣象站之 26 年雨量資料，分析有效降雨事件之相關統計特性，並依據 GISS 平衡試驗之輸出值，以及 IPCC 所提供之 SRES 排放情境來模擬氣候變遷，評估未來短期、中期與長期有效降雨事件與有效雨量之變化。依據 3412 場有效降雨事件之分析結果顯示，最大三十分鐘降雨強度與平均降雨強度有較高的相關性，相關係數介於 0.751 至 0.768 之間。由 GISS 平衡試驗以及 HADCM3 漸變試驗之模擬結果顯示，未來氣候變遷對台灣北部地區之日有效降雨事件的影響不大，惟對月平均有效雨量有較大之影響，而大致呈現雨季增加，旱季減少的趨勢。整體而言，月平均有效雨量增加之月份及其增幅普遍大於減少之月份及其減幅，此一結果將對土壤沖蝕之防治造成負面之影響。

關鍵詞：氣候變遷，溫室效應，全球暖化，有效降雨事件，土壤沖蝕。

ABSTRACT

In this study, rainfall data across 26 years were collected from major weather stations in northern Taiwan to analyze the statistic attributes of effective rainfall events. The variations of effective rainfall events and of effective rainfall in the short, medium and long term were evaluated using the output of the GISS equilibrium experiment and the SRES emissions scenarios of the IPCC. The analysis results of 3412 effective rainfall events show that the maximum 30-minute rainfall intensities had a good correlation with

*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系教授，106 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，jcfan@ntu.edu.tw

mean rainfall intensities, with correlation coefficients ranging from 0.751 to 0.768. The simulation results of the GISS equilibrium experiment and the HADCM3 transition experiment show that future climate change does not have much influence on daily effective rainfall events in northern Taiwan, but has greater influence on monthly mean effective rainfall. The monthly mean effective rainfall tends to increase in the rainy season and decrease in the dry season. Generally speaking, the number of months with increased monthly mean effective rainfall and the increase of monthly mean effective rainfall in those months are both greater than the number of months with decreased monthly mean effective rainfall and the decrease of monthly mean effective rainfall in those months. This will have negative effect on the prevention of soil erosion.

Keywords: Climate change, Greenhouse effect, Global warming, Effective rainfall event, Soil erosion.

一、前言

Renard 等人(1997)所修訂之修正通用土壤流失公式(Revised Universal Soil Loss Equation, 簡稱 RUSLE)常被使用於土壤流失量之估算, 公式中的降雨逕流沖蝕因子或稱為降雨沖蝕指數(Rainfall erosivity index, 簡稱 R), 為一與降雨特性相關的重要因子。Wischmeier (1959)之研究發現, 降雨沖蝕指數與土壤沖蝕率呈高度的相關, R 因子於土壤沖蝕的評估及控制上, 為一重要的評估指標。

氣候對於土壤沖蝕因子之影響頗為複雜與深遠, 尤以降雨沖蝕指數受其影響為最, 相關的研究均顯示氣候變遷將導致降雨特性之改變, 降雨沖蝕指數因而隨之變化(Nearing, 2001, Zhang et al., 2005)。參照 Wischmeier and Smith (1978)之定義, 降雨沖蝕指數之計算, 必須判定每一場降雨事件是否為有效降雨, 再計算該場有效降雨之降雨總動能(E), 並求得該場有效降雨之最大三十分鐘降雨強度(I_{30}), 而兩者之乘積即為該場有效降雨之降雨沖蝕指數(R)。相關的降雨沖蝕指數之研究發現(黃俊德, 1979、盧光輝, 1999、盧昭堯等人, 2005), 以不同統計年數計算出的 R 值分佈有頗大的差異, 此乃以不同的統計年數去計算所產生的變異。

氣候變遷導致降雨特性之改變, 不外乎總雨

量以及雨量於時間上之分佈。相關的氣候變遷衝擊評估研究(吳志剛等人, 2000、羅俊雄等人, 2002)發現, 台灣地區未來的降雨特性, 在總雨量不變之下, 有降雨延時縮短, 而降雨強度增加之趨勢; 因此, 未來氣候變遷台灣地區之有效降雨事件及其最大三十分鐘降雨強度, 亦將隨之而改變。歷史降雨記錄之最大三十分鐘降雨強度, 可由該場有效降雨直接求得(楊文仁等人, 2005), 然而於未來氣候變遷降雨事件之模擬, 相關研究係以日雨量為基礎(Tung and Haith 1995、洪念民等人 1997、童慶斌等人 2000), 氣候生成模式(climate generator)所產生的雨量資料為日雨量資料, 有效降雨事件及其最大三十分鐘降雨強度, 並無法由氣候生成模式所產生的降雨資料直接求得。

緣此, 本研究擬選取並蒐集台灣北部地區各主要氣象站之雨量資料, 於原始之歷史降雨記錄中將有效降雨事件篩選出(Wischmeier and Smith 1978), 分析有效降雨事件之相關統計特性, 以及有效降雨事件之最大三十分鐘降雨強度、有效降雨延時以及有效雨量等特性, 其歷史統計特性可作為氣候生成模式之模擬依據。再者, 依據 Country Studies Program 所提供之 GCM (General Circulation Model)平衡試驗的輸出值, 以及 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)所提供之最新 SRES (Special Report on Emissions

Scenarios)排放情境來模擬氣候變遷,評估未來短期(2010~2039 年)、中期(2040~2069 年)與長期(2070~2099 年)有效降雨事件及相關特性之變化趨勢,以瞭解未來氣候變遷對於台灣北部地區有效降雨事件之影響,俾能作為日後土壤沖蝕防治措施及相關因應策略之研擬參考。

二、文獻回顧

Smith and Wischmeier (1965, 1978)收集來自全美各地,超過 10,000 個標準場區一年(plot-years)和超過 1000 個集水區一年(watershed-years)之土壤沖蝕數據,評估分析影響土壤沖蝕的各項因子,進而發展出廣被使用的土壤流失評估方式,通用土壤流失公式(The Universal Soil Loss Equation, 簡稱 USLE)。USLE 為一經驗公式,其綜合考量之因子包括降雨特性、土壤特性、地形因素,植生覆蓋與相關的水土保持措施;此一公式經 Renard 等人(1997)進一步之修正後,而提出修正版的通用土壤流失公式。影響土壤沖蝕之各因子中,降雨逕流因子為與區域之氣候特性相關性最密切者,此一因子可具體表現出降雨及逕流對土壤造成沖蝕之影響程度。

Wischmeier (1958)由實測之土壤沖蝕數據資料發現,土壤沖蝕量和降雨總動能與該場降雨之最大連續 30 分鐘降雨強度之乘積成正相關,並將該乘積定義為降雨沖蝕指數(Rainfall and erosivity index, 簡稱 R)。降雨沖蝕指數受到地區之氣候與自然降雨特性影響,目前台灣地區降雨沖蝕指數之修訂(黃俊德, 1979、盧光輝, 1999、盧昭堯等人, 2005),均以過去歷史的雨量資料為基礎,於未來氣候變遷下,台灣地區之降雨沖蝕指數之變化則仍屬未知;而在土壤流失量的推估上均屬於短期性的推估,缺乏長遠性如未來 30 年或 50 年之推估,無法作為因應氣候變遷相關策略之研擬與制訂的參考。

人類之活動對於氣候系統之影響極為顯著,IPCC (2001)利用 SRES 預設情境,考慮未來世界之經濟社會發展所設置之 35 個預設情境進行模擬,其報告指出因人類活動而造成之全球暖化,平均每十年上升約 0.1~0.2°C。全球氣候變遷

對台灣地區之氣候有相當程度的影響,其改變台灣地區溫度的變化趨勢及降雨特性。Liu 等人[1] (1996)之研究指出台灣地區有雨日減少,但降水強度有增強之趨勢。吳志剛等人(2000)針對高屏溪流域之水資源受氣候變遷之衝擊進行分析,其研究指出高屏溪流域降雨未來可能呈現降雨強度增加,而降雨延時減少之情況。根據最近幾年國內洪旱災害事件之事後調查分析報告(羅俊雄等人, 2002)指出,在總雨量不變之下,颱風降雨型態已由過去之長降雨延時轉變成短降雨延時,即尖峰降雨強度變大。總降雨量雖然不變但尖峰降雨強度變大,則最大三十分鐘降雨強度與降雨動能亦可能隨之增加,因而導致降雨沖蝕指數之改變。因此,氣候變遷對台灣地區降雨沖蝕指數之影響,有待進一步之研究與分析。

在台灣地區許多氣象站之雨量資料並不完整,有些氣象站只有日或時雨量資料,並無小尺度的雨量資料,例如 10 分鐘或 30 分鐘之雨量資料,有效降雨事件之最大三十分鐘降雨強度,無法直接由雨量資料求得。范正成與盧光輝(1992)以 Brown and Foster (1987)所提出之兩種理想化降雨強度分析方法,以及范正成和賴仲智(1992)所使用之真實降雨強度分析方法,分析台北地區最大三十分鐘降雨強度與平均降雨強度之關係,並推導最大三十分鐘降雨強度與總降雨量及總降雨延時之關係,得到一個推估公式如下:

$$I_{30} = 8.48 \frac{(V + 2.5)^{0.78}}{(D + 2.05)^{0.705}} - 9.89 \dots\dots\dots (1)$$

其中, I_{30} 為三十分鐘最大降雨強度(mm/hr), V 為總降雨量(mm), D 為總降雨延時(hr)。

楊文仁等人(2005)則分析了台灣北部地區主要氣象站 1961 年至 1990 年三十年之雨量資料,共 4740 場之有效降雨事件。其研究發現最大三十分鐘降雨強度與平均降雨強度之關係較佳,相關係數介於 0.702 至 0.789 之間,累積雨量次之,與降雨延時之相關性最差,呈現負的相關性。該研究綜合前人研究(Cooley 1980、范正成與盧光輝(1992))以及 I_{30} 之分析結果,建立一個三層架

表 1 各氣象站之基本相關資料

| 氣象站 | 基隆 | 宜蘭 | 新竹 |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 站號 | 46694 | 467080 | 467570 |
| 高程 | 26.7M | 7.2M | 34.0M |
| 經度 | 121°43'56"E | 121°44'52"E | 120°58'10"E |
| 緯度 | 25°08'05"N | 24°45'56"N | 24°48'08"N |
| 測站種類 | 三等氣象站 | 四等氣象站 | 三等氣象站 |

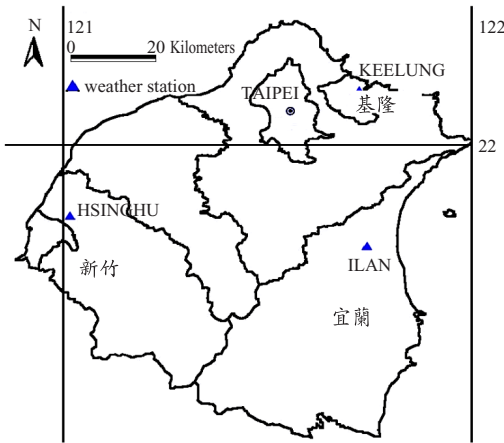


圖 1 各氣象站之位置示意圖

構之倒傳遞類神經網路，以及兩個回歸推估公式，公式如下：

$$I_{30} = aV^b \cdot D^c \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{30} = aI_m^b \quad \dots\dots\dots(3)$$

其中， I_{30} (mm/hr)為最大三十分鐘降雨強度， V (mm)為該場有效降雨之累積雨量， D (hr)為降雨延時， I_m (mm/hr)為平均降雨強度， a 、 b 、 c 為待定係數。其研究結果亦顯示，公式(2)以及倒傳遞類神經網路較適合用來推估此一地區之最大三十分鐘降雨強度。然而這些公式仍有必要加以修訂，使其適合用來推估未來氣候變遷有效降雨事件之最大三十分鐘降雨強度。

三、研究方法

3.1 研究區氣象站之選取及降雨特性分析

綜合台灣地區相關的降雨沖蝕指數研究(黃俊德, 1979、鄭皆達等人, 1997、盧光輝, 1999、

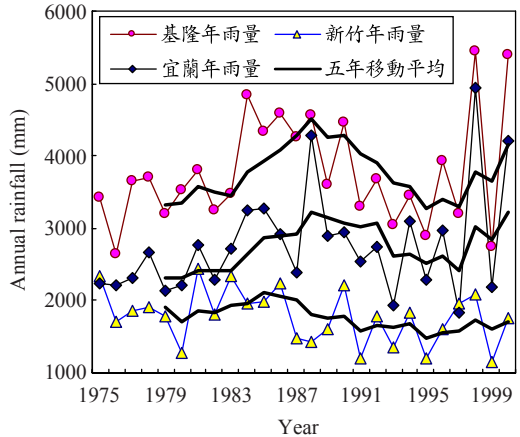


圖 2 各氣象站之年雨量變化(1975~2000 年)

盧昭堯等人, 2005)，並考慮雨量站之設置情況與雨量記錄之完整性，本研究選取基隆、宜蘭與新竹等三個氣象站之資料進行分析，各氣象站之基本相關資料及位置，如表 1 及圖 1 所示。Baffaut 等人(1996)之研究建議，土壤沖蝕之預測應使用超過三十年的氣候資料，以降低年平均之變異性；Arnold (1993)以及 Arnold and Elliot (1996)皆以 20 年的資料記錄，來驗證 CLIGEN 氣候生成模式在非洲烏干達地區的適用性；有關於氣候變遷預設情境之設立，IPCC Data Distribution Center 則建議以三十年為週期做平均，以表示氣候變遷之情形。本研究則以三個氣象站可收集萃取之完整記錄資料，自 1975 年至 2000 年共 26 年之雨量資料以作為模擬分析之用。

依據 1975 年至 2000 年雨量資料之統計結果，年雨量之變動趨勢如圖 2，各氣象站之月平均雨量及變化如圖 3。三個氣象站其設置之海拔高程均不超過 35m，然而圖 2 及圖 3 卻顯示，三個站年平均雨量與月平均雨量之差異頗大，此乃與氣象站所設立之地理位置有關。基隆、宜蘭與新竹三個氣象站之年平均雨量分別為 3783mm、2778mm 與 1780mm，除了新竹氣象站外，基隆與宜蘭氣象站之年平均雨量均高於台灣地區之年平均值，而基隆站之年平均雨量遠大於其他兩個站，惟五年之移動平均線顯示，年雨量之變動趨勢頗為一致。此外，由月平均雨量之變化可發

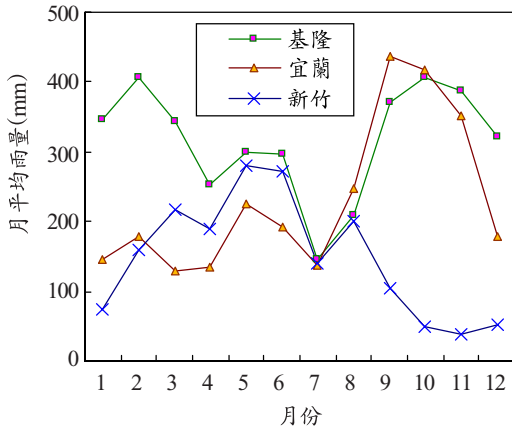


圖 3 各氣象站之月平均雨量變化

現基隆與宜蘭地區之雨量多半集中在颱風雷雨豐沛的夏秋兩季，以及東北季風盛行的十月至次年的三月，而新竹氣象站則因設置的地理位置，其旱季相當明顯(10月至次年的1月)，雨量集中在梅雨季及颱風盛行的夏季。

3.2 氣候變遷預設情境

預設情境一般可分成大氣環流模式預測、時間類比、空間類比以及假設等四類，其中唯有大氣環流模式之預測，方能真正以物理性評估大氣溫室氣體加強導致全球暖化之特性。目前國際上於氣候變遷衝擊研究上，所使用之氣候變遷預設情境主要多為 IPCC 所彙整。研究中，未來氣候變遷情境之建立，係參照 Country Studies Program 所提供的 GCM 平衡試驗(Equilibrium Experiment) 之輸出值，即分別考慮大氣在 1 倍 CO₂ 與 2 倍 CO₂ 時之氣候；以及依照 SRES 排放情境，訂定隨時間變化之溫室氣體而逐年模擬的漸變試驗(Transition Experiment)，以設立未來短期(2010~2039 年)、中期(2040~2069 年)及長期(2070~2099 年)之氣候變遷趨勢。

大氣環流模式對於小區域氣候之預測仍有相當的不確定性，其預測值一般僅應用於設定氣候變遷預設情境，再配合氣象資料合成模式產生未來氣候之資料，以供模式評估分析之用。緣於全球尺度之大氣環流模式的解析度不夠，無法合理的預測研究區域之氣候，故必須加以調整。水

文尺度之氣候變遷預設情的建立，本研究參照 IPCC 所採用之方式，以大氣環流模式所預測之改變量修正氣象合成模式參數，再合成資料。

童慶斌等人(2002)將 CCCM、GFDL、GISS 模式與台灣歷史資料進行比對，其研究發現 GISS 模式之雨量模擬結果與台灣歷史資料較為接近，其相關係數高達 0.90，GFDL 模式之模擬結果最差，與台灣之現況不符；而加拿大之 CCCM 模式對台灣氣溫之模擬最佳，相關係數達 1.0，惟雨量之模擬結果其相關係數僅約 0.57。RSM 模式之模擬比對結果顯示，RSM1-97V 與台灣歷史資料之相關性最佳，但與台北地區降雨量之相關性則以 RSM0-96V 最好，惟其相關係數僅為 0.52。其研究亦將 CGCM2、HADCM3、CSIRO-MK2 等模式之 A2 及 B2 情境 Baseline 與台灣之歷史氣溫與降雨資料進行比對，發現三個模式對氣溫之模擬結果相當良好，在雨量之模擬則以 HADCM3 之模擬結果最好，CGCM2 之模擬結果次之，惟相關係數僅約 0.37，CSIRO-MK2 之模擬結果最差，與台灣之現況不符，不適用於台灣地區氣候變遷衝擊評估之應用。綜合上述，GCMs 平衡試驗情境本研究將採用美國 GISS 模式之輸出值，漸變試驗情境則採用英國 HCCPR (Hadley Centre for Climate Prediction and Research) 之 HADCM3 模式輸出之 SRES-A2 情境。

3.3 有效降雨事件及雨量之模擬生成

利用各情境所提供之預測值修正降雨量月平均資料，將修正後未來的降雨量資料代入氣象資料合成模式中，可模擬得到未來氣候各模式預測之日降雨量資料。未來氣候變遷雨量資料之模擬，包括降雨事件與降雨發生時之降雨量等兩個步驟(Tung and Haith 1995、Scheele et al., 2001、童慶斌等人、2002)。降雨事件之發生與否，係以一階馬可夫鍊(First Order Markov Chain)條件機率來模擬，統計過去歷史中各月之前一天下雨而今天下雨的機率 $P(W/W)$ ，以及前一天不下雨而今天下雨之機率 $P(W/D)$ ，並產生一序列 0 到 1 之間的亂數給每一天，以做為其是否發生降雨的參數值。再依照前一天是否降雨以及過去歷史上

表 2 各氣象站所對應之格點情境(雨量比值)與修正後之月平均有效雨量(cm/day)

| 模式 | GISS(平衡試驗) | | | | HADCM3(SRES-A2 漸變試驗) | | | | | | | | | | | |
|------|------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 經度 120.0 緯度 27.4 | | | | 經度 120.0 緯度 25.0 | | | | | | | | | | | |
| 月份 | 比值 | 基隆 | 宜蘭 | 新竹 | 短期 | 基隆 | 宜蘭 | 新竹 | 中期 | 基隆 | 宜蘭 | 新竹 | 長期 | 基隆 | 宜蘭 | 新竹 |
| JEN | 1.13 | 2.64 | 2.06 | 1.83 | 1.13 | 2.64 | 2.06 | 1.83 | 0.85 | 1.99 | 1.55 | 1.38 | 0.95 | 2.22 | 1.73 | 1.54 |
| FEB | 0.68 | 1.95 | 1.31 | 1.52 | 0.95 | 2.73 | 1.83 | 2.12 | 0.68 | 1.95 | 1.31 | 1.52 | 1.00 | 2.87 | 1.93 | 2.23 |
| MAR | 1.03 | 2.47 | 1.68 | 2.34 | 0.95 | 2.28 | 1.55 | 2.16 | 1.07 | 2.57 | 1.74 | 2.43 | 0.92 | 2.21 | 1.50 | 2.09 |
| APR | 1.33 | 3.47 | 2.86 | 3.33 | 1.13 | 2.95 | 2.43 | 2.83 | 1.31 | 3.42 | 2.82 | 3.28 | 1.28 | 3.34 | 2.75 | 3.20 |
| MAY | 0.91 | 2.73 | 2.36 | 3.72 | 1.08 | 3.24 | 2.80 | 4.42 | 1.30 | 3.90 | 3.37 | 5.32 | 1.38 | 4.14 | 3.57 | 5.64 |
| JUN | 1.51 | 6.06 | 4.64 | 6.60 | 1.30 | 5.21 | 3.99 | 5.68 | 1.21 | 4.85 | 3.71 | 5.29 | 1.01 | 4.05 | 3.10 | 4.41 |
| JULY | 1.30 | 5.50 | 4.67 | 5.41 | 1.14 | 4.82 | 4.09 | 4.74 | 1.10 | 4.65 | 3.95 | 4.58 | 1.37 | 5.80 | 4.92 | 5.70 |
| AUG | 1.23 | 4.90 | 5.38 | 4.69 | 1.21 | 4.82 | 5.29 | 4.61 | 1.27 | 5.05 | 5.55 | 4.84 | 1.39 | 5.53 | 6.07 | 5.30 |
| SEP | 1.30 | 5.80 | 6.63 | 4.11 | 1.27 | 5.66 | 6.48 | 4.01 | 0.98 | 4.37 | 5.00 | 3.10 | 1.25 | 5.58 | 6.38 | 3.95 |
| OCT | 0.98 | 4.48 | 4.40 | 2.31 | 1.07 | 4.89 | 4.80 | 2.53 | 1.53 | 6.99 | 6.87 | 3.61 | 1.47 | 6.72 | 6.60 | 3.47 |
| NOV | 1.15 | 3.84 | 4.14 | 2.99 | 0.85 | 2.84 | 3.06 | 2.21 | 0.80 | 2.67 | 2.88 | 2.08 | 0.91 | 3.04 | 3.28 | 2.37 |
| DEC | 0.94 | 2.59 | 2.13 | 1.75 | 1.08 | 2.97 | 2.45 | 2.01 | 1.00 | 2.75 | 2.27 | 1.86 | 0.88 | 2.42 | 2.00 | 1.64 |

發生降雨的條件機率來判定是否發生降雨。例如，每月的第一天若其亂數值小於等於該月之降雨機率，則發生降雨，反之則不發生降雨；爾後前一天若下雨而其亂數值小於等於 $P(W/W)$ 則發生降雨，反之則不發生降雨；前一天若沒下雨而其亂數值小於等於 $P(W/D)$ 則發生降雨，反之則不發生降雨。

洪念民等人(1997)曾參照現有降雨分佈進行模擬驗證並進行優選，選取單參數韋伯分佈(Weibull distribution)、指數分佈(Exponential distribution)與 Beta 分佈(Beta-p distribution)等三種雨量分佈，其研究發現三種分佈對於降雨量之模擬結果相當良好，其中又以指數分佈(Exponential distribution)之模擬結果最為理想，故雨量之模擬本研究採用指數分佈。指數分佈方程式如下：

$$P = \mu_p(I) \times [-\ln(1 - RN)] \dots\dots\dots (4)$$

上式中， P 為日降雨量(cm)， $\mu_p(I)$ 為對應第 I 月份雨天之平均降雨量(cm)， RN 為介於 0 到 1 之間的隨機亂數。

依據 Wischmeier and Smith (1978)有效降雨

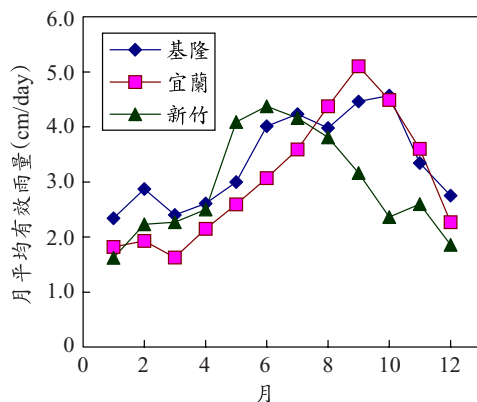


圖 4 各氣象站之月平均有效雨量變化

之定義，單場降雨之累積降雨量超過 12.7mm，或於 15 分鐘內降下超過 6.35mm 之雨量，且該場降雨與前一場降雨之間隔超過六小時以上，則該降雨可視為有效降雨。未來氣候變遷雨量資料之模擬，大都以日雨量為基礎；然而，歷史記錄上之有雨日並非一定會發生有效降雨事件。因此，於有效降雨事件模擬上，本研究係以日為單位，由原始的雨量記錄重新計算有效雨量，得到日有效降雨事件與日有效雨量，以供進一步的分析及模擬。圖 4 為以上述方式重新整理之有效降雨事

表 3 各氣象站之有效降雨事件之統計特性

| 項目 | 基隆氣象站 | | | 宜蘭氣象站 | | | 新竹氣象站 | | |
|------------------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| | I ₃₀ (mm/hr) | Duration (hr) | Rainfall (mm) | I ₃₀ (mm/hr) | Duration (hr) | Rainfall (mm) | I ₃₀ (mm/hr) | Duration (hr) | Rainfall (mm) |
| 平均數 | 17.10 | 25.8 | 59.5 | 18.86 | 21.6 | 55.9 | 19.72 | 16.2 | 45.0 |
| 眾數 | 6.0 | 10.0 | 15.0 | 5.6 | 12.0 | 13.5 | 6.0 | 9.0 | 15.5 |
| 標準差 | 16.54 | 23.93 | 67.7 | 18.13 | 17.37 | 72.0 | 16.83 | 11.80 | 45.1 |
| 變異數 | 274 | 572 | 4586 | 329 | 302 | 5188 | 283 | 139 | 2032 |
| 變異係數 | 0.968 | 0.927 | 1.138 | 0.961 | 0.804 | 1.289 | 0.854 | 0.729 | 1.002 |
| 峰度係數 | 7.49 | 13.97 | 21.6 | 4.65 | 16.49 | 26.9 | 6.60 | 2.92 | 11.5 |
| 偏態係數 | 2.42 | 2.87 | 3.74 | 2.01 | 2.69 | 4.27 | 2.15 | 1.57 | 2.98 |
| 全距 | 116.8 | 241 | 739 | 105.2 | 212 | 826 | 124.4 | 75 | 372 |
| 最小值 | 1.20 | 2.0 | 12.7 | 1.80 | 2.0 | 12.7 | 1.60 | 2.0 | 12.7 |
| 最大值 | 118 | 243 | 752 | 107 | 214 | 839 | 126 | 77 | 385 |
| Q1(25%) | 6.80 | 11.00 | 21.2 | 6.70 | 10.00 | 19.15 | 8.00 | 8.00 | 18.6 |
| Q2(50%) | 11.40 | 20.0 | 36.1 | 12.00 | 17.00 | 30.5 | 14.40 | 13.00 | 28.6 |
| Q3(75%) | 22.0 | 34.0 | 72.0 | 24.5 | 28.0 | 62.7 | 25.9 | 21.0 | 51.7 |
| 四分位差 | 7.60 | 11.50 | 25.4 | 8.90 | 9.00 | 21.8 | 8.95 | 6.50 | 16.54 |
| 與 I ₃₀ 相關係數 | * | -0.105 | 0.391 | * | -0.045 | 0.558 | * | -0.073 | 0.539 |
| 信賴度(95%) | 0.845 | 1.223 | 3.46 | 1.087 | 1.042 | 4.32 | 1.120 | 0.785 | 3.00 |

[註]Q1、Q2 及 Q3 分別為第一四分位數、第二四分位數與第三四分位數。

件之月平均有效雨量變化，表 2 則為本研究中各氣象站所對應之 GCMs 格點位置，以及短、中、長期所對應之預設情境。

四、結果與討論

4.1 有效降雨事件特性分析

依照 Wischmeier and Smith (1978)有效雨量之定義，分析基隆、宜蘭與新竹三個氣象站 26 年(1975 年至 2000 年)之雨量資料，三個氣象站之有效降雨事件分別為 1471 場、1071 場以及 870 場，年平均有效雨量則分別為 3368mm、2301mm 以及 1506mm，佔年平均雨量之比例分別為 89.0%、82.8%以及 84.6%；其中以基隆氣象站之年平均有效降雨事件與年平均有效雨量最高，宜蘭氣象站次之，新竹氣象站則最低，惟有效雨量佔總雨量之比例均在 82%以上。分析有效降雨事件的相關統計特性，整理得 I₃₀與降雨延時以及降雨量之關係，如表 3 所示。

表 3 顯示，三個氣象站之有效降雨事件的平均降雨延時分別為 25.8 小時、21.6 小時以及

16.2 小時，平均 I₃₀ 分別為 17.10mm/hr、18.86mm/hr 以及 19.72mm/hr，平均有效雨量則分別為 59.5mm、55.9mm 以及 45.0mm。三個站之有效降雨事件，其 I₃₀以及降雨延時之變異係數均在 1.0 以下，有效雨量之變異係數則在 1.0 以上，由此可知，有效降雨事件之有效雨量的變異性相較 I₃₀以及降雨延時來得大；然而，偏態係數 (Skewness coefficient) 及峰度係數 (Kurtosis coefficient)則顯示，有效雨量、I₃₀以及降雨延時均屬於不對稱右偏分配(偏態係數大於 0)，且為尖峰集中的分佈型態(峰度係數均大於 3)。進一步之分析結果發現，三個氣象站之 I₃₀與平均降雨強度有較高的相關性，相關係數 (Correlation coefficient)分別為 0.767、0.751 與 0.768，與降雨量之相關性次之，與降雨延時之相關性則最差，且呈現負相關，即降雨延時愈大則 I₃₀愈小。

4.2 日有效降雨事件及有效雨量之模擬驗證

以前述降雨事件及降雨量之模擬方法，依據

表 4 各氣象站有效降雨事件之模擬驗證結果

| 項目 | 基隆氣象站 | | | | 宜蘭氣象站 | | | | 新竹氣象站 | | | |
|------|--------|-------|------------------|------|--------|-------|------------------|------|--------|-------|------------------|------|
| | 有效降雨機率 | | 有效雨量 (cm/day) | | 有效降雨機率 | | 有效雨量 (cm/day) | | 有效降雨機率 | | 有效雨量 (cm/day) | |
| 月份 | 觀測值 | 模擬值 | 觀測值 | 模擬值 | 觀測值 | 模擬值 | 觀測值 | 模擬值 | 觀測值 | 模擬值 | 觀測值 | 模擬值 |
| JEN | 0.388 | 0.387 | 2.34 | 2.22 | 0.169 | 0.165 | 1.82 | 1.77 | 0.100 | 0.095 | 1.62 | 1.64 |
| FEB | 0.474 | 0.468 | 2.87 | 2.87 | 0.249 | 0.261 | 1.93 | 1.94 | 0.204 | 0.195 | 2.23 | 2.11 |
| MAR | 0.421 | 0.433 | 2.40 | 2.42 | 0.160 | 0.158 | 1.63 | 1.63 | 0.252 | 0.261 | 2.27 | 2.28 |
| APR | 0.268 | 0.275 | 2.61 | 2.51 | 0.147 | 0.155 | 2.15 | 2.19 | 0.210 | 0.208 | 2.50 | 2.49 |
| MAY | 0.283 | 0.294 | 3.00 | 2.88 | 0.216 | 0.209 | 2.59 | 2.39 | 0.200 | 0.201 | 4.09 | 3.65 |
| JUN | 0.219 | 0.218 | 4.01 | 3.83 | 0.177 | 0.180 | 3.07 | 3.12 | 0.190 | 0.190 | 4.37 | 4.29 |
| JULY | 0.091 | 0.093 | 4.23 | 4.34 | 0.098 | 0.097 | 3.59 | 3.67 | 0.091 | 0.090 | 4.16 | 4.06 |
| AUG | 0.151 | 0.156 | 3.98 | 3.86 | 0.165 | 0.163 | 4.37 | 4.29 | 0.153 | 0.148 | 3.81 | 3.95 |
| SEP | 0.249 | 0.244 | 4.46 | 4.44 | 0.256 | 0.252 | 5.10 | 5.16 | 0.094 | 0.093 | 3.16 | 3.27 |
| OCT | 0.258 | 0.263 | 4.57 | 4.46 | 0.272 | 0.276 | 4.49 | 4.58 | 0.045 | 0.042 | 2.36 | 2.55 |
| NOV | 0.358 | 0.364 | 3.34 | 3.37 | 0.286 | 0.297 | 3.60 | 3.34 | 0.042 | 0.048 | 2.60 | 2.61 |
| DEC | 0.341 | 0.336 | 2.75 | 2.75 | 0.208 | 0.200 | 2.27 | 2.23 | 0.066 | 0.060 | 1.86 | 1.96 |
| 斜率 | 1.002 | | 0.992 | | 0.954 | | 0.980 | | 0.984 | | 1.052 | |
| 截距 | -0.003 | | 0.078 | | 0.008 | | 0.087 | | 0.003 | | -0.137 | |
| 相關係數 | 0.997 | | 0.989 | | 0.988 | | 0.992 | | 0.996 | | 0.973 | |

歷史統計特性模擬 10 組 26 年之日有效降雨事件資料，並將模擬之日有效降雨資料與歷史資料進行比對，以檢驗模擬之結果是否良好，結果整理如表 4。比對實際觀測值與模擬值之迴歸關係直線的斜率、截距以及相關係數，三個站之有效降雨機率及有效日雨量之模擬結果良好，斜率均非常接近於 1，且截距亦都接近於 0，亦即模擬值與實際之觀測值很接近，而其相關係數均大於 0.973，非常接近於 1，模擬值與實際之觀測值呈現高度的相關性。

4.3 未來氣候變遷有效降雨事件及雨量之變化

將模擬現況以及未來氣候所得到之日有效降雨事件，整理如表 5。表 5 顯示，以 GISS 模擬兩倍 CO₂ 濃度情境時，基隆氣象站之月平均日有效降雨事件與現況完全相同，並無增加或減少；宜蘭氣象站則除了四月是增加，以及五月是減少之外，其餘並無增減；而新竹氣象站則是，二月及八月減少以及十一月增加，其餘之月平均日有效降雨事件並無增減情形。HADCM3 (SRES-A2)之模擬結果則顯示，基隆

氣象站之月平均日有效降雨事件，無論短、中、長期均無變化；宜蘭氣象站則除了四月之短、中、長期模擬結果是增加的，以及五月之短、中、長期模擬結果是減少的以外，其餘月份均無變化；而新竹氣象站則是二月與八月減少，十一月增加，其餘月份則無變化。

將模擬現況以及未來氣候所得到之有效雨量，加以整理得各氣象站之月平均有效雨量如表 6。表 6 顯示，以 GISS 模擬兩倍 CO₂ 濃度情境時，基隆氣象站除了二月、五月及十月之月平均有效雨量減少外，其餘均較現況增加，其中以六月之增幅 43.4%以及二月之減幅 29.6%為最大。宜蘭氣象站除了二月、五月、十月與十二月有減少外，其餘月份有增加的趨勢，以六月之增幅 53.1%以及二月之減幅 32.6%為最大。而新竹氣象站則除了二月及五月之外，其餘月份均為增加，尤以六月之 32.7%增幅為最大，二月則有 29.6%之最大減幅。各氣象站之最大增幅均發生在六月，而最大減幅則發生在二月，整體而言，各氣象站之月平均有效雨量呈現，雨季增加旱季減少的趨勢。

表 5 未來氣候變遷各氣象站之月平均日有效降雨事件

| 站名 | 模式 | 期間 | 月平均日有效降雨事件 | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-------------------|------------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| | | | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | June | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| 基隆 | HADCM3 | 短期 | 12 | 13 | 13 | 8 | 9 | 7 | 3 | 5 | 7 | 8 | 11 | 11 |
| | | 中期 | 12 | 13 | 13 | 8 | 9 | 7 | 3 | 5 | 7 | 8 | 11 | 11 |
| | | 長期 | 12 | 13 | 13 | 8 | 9 | 7 | 3 | 5 | 7 | 8 | 11 | 11 |
| | GISS | 2×CO ₂ | 12 | 13 | 13 | 8 | 9 | 7 | 3 | 5 | 7 | 8 | 11 | 11 |
| | 現況(1975-2000) | | 12 | 13 | 13 | 8 | 9 | 7 | 3 | 5 | 7 | 8 | 11 | 11 |
| 宜蘭 | HADCM3 | 短期 | 5 | 7 | 5 | 5 | 6 | 5 | 3 | 5 | 8 | 8 | 9 | 6 |
| | | 中期 | 5 | 7 | 5 | 5 | 6 | 5 | 3 | 5 | 8 | 8 | 9 | 6 |
| | | 長期 | 5 | 7 | 5 | 5 | 6 | 5 | 3 | 5 | 8 | 8 | 9 | 6 |
| | GISS | 2×CO ₂ | 5 | 7 | 5 | 5 | 6 | 5 | 3 | 5 | 8 | 8 | 9 | 6 |
| | 現況(1975-2000) | | 5 | 7 | 5 | 4 | 7 | 5 | 3 | 5 | 8 | 8 | 9 | 6 |
| 新竹 | HADCM3 | 短期 | 3 | 5 | 8 | 6 | 6 | 6 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| | | 中期 | 3 | 5 | 8 | 6 | 6 | 6 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| | | 長期 | 3 | 5 | 8 | 6 | 6 | 6 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| | GISS | 2×CO ₂ | 3 | 5 | 8 | 6 | 6 | 6 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| | 現況(1975-2000) | | 3 | 6 | 8 | 6 | 6 | 6 | 3 | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 |

HADCM3 漸變試驗(SRES-A2)之模擬結果顯示，基隆氣象站之月平均有效雨量，就短期而言，除了二月、三月與十一月外，大都有增加的趨勢；中期而言，除了一月、二月、九月與十一月外，大都有增加的趨勢；長期而言，除了一月、三月、六月、十一月與十二月外，其餘均為增加。宜蘭氣象站之月平均有效雨量，就短期而言，除了二月、三月與十一月外，大都有增加的趨勢；中期而言，除了一月、二月、九月與十月外，其餘月份均有增加的趨勢；長期而言，除了二月、三月、十一月與十二月外，其餘均為增加。新竹氣象站之月平均有效雨量，就短期而言，除了二月、三月、五月與十一月外，其餘均為增加；中期而言，除了一月、二月與十一月外，其餘均為增加；長期而言，除了一月、二月、三月與十一月外，其餘均為增加。

綜合前述，未來氣候變遷主要雨季(五月至十月)之月平均有效雨量有增強的趨勢，而旱季則有減弱之現象。整體而言，月平均有效雨量增加之月份及其增幅普遍大於減少之月份及其減幅。因此，氣候變遷對台灣北部地區之土壤沖蝕防治將帶來負面之影響。

五、結論與建議

本文蒐集分析基隆、宜蘭與新竹三個氣象站二十六年，共 3412 場之有效降雨事件，結果顯示最大三十分鐘降雨強度與平均降雨強度有較高的相關性，相關係數分別為 0.767、0.751 與 0.768，與降雨量之相關性次之，與降雨延時之相關性則最差，而呈現負相關。有效降雨事件之有效雨量的變異性相較 I₃₀ 以及降雨延時來得大；而偏態係數及峰度係數則顯示，有效雨量、I₃₀ 以及降雨延時均屬於不對稱左偏分配，且為尖峰集中的分佈型態。

綜合 GISS 平衡試驗以及 HADCM3 (SRES-A2) 漸變試驗之模擬結果，未來氣候變遷對日有效降雨事件之雨量有較大之影響，主要雨季(五月至十月)之月平均有效雨量有增加的趨勢，而旱季則有減弱之現象。整體而言，增加之月份及其增幅普遍大於減少之月份及其減幅。因此，氣候變遷對台灣北部地區之土壤沖蝕防治，將帶來負面之影響，其影響有待進一步之分析及評估。

IPCC 之建議，氣候變遷之模擬比較基期應以三十年之資料為宜，然而本研究區內符合此一

表 6 未來氣候變遷各氣象站之月平均有效雨量

| 站名 | 模式 | 期間 | 月平均有效雨量(cm/day) | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-------------------|-----------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | | | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | June | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| 基隆 | HADCM3 | 短期 | 2.60 | 2.83 | 2.34 | 2.96 | 3.17 | 4.94 | 5.13 | 4.85 | 5.64 | 4.58 | 2.74 | 3.18 |
| | | 增減(%) | 11.11 | -1.39 | -2.50 | 13.41 | 5.67 | 23.19 | 21.28 | 21.86 | 26.46 | 0.22 | -17.96 | 15.64 |
| | | 中期 | 1.96 | 2.02 | 2.63 | 3.43 | 3.81 | 4.60 | 4.95 | 5.08 | 4.36 | 6.54 | 2.57 | 2.94 |
| | | 增減(%) | -16.24 | -29.62 | 9.58 | 31.42 | 27.00 | 14.71 | 17.02 | 27.64 | -2.24 | 43.11 | -23.05 | 6.91 |
| | | 長期 | 2.19 | 2.97 | 2.26 | 3.35 | 4.05 | 3.84 | 6.17 | 5.56 | 5.56 | 6.29 | 2.93 | 2.59 |
| | | 增減(%) | -6.41 | 3.48 | -5.83 | 28.35 | 35.00 | -4.24 | 45.86 | 39.70 | 24.66 | 37.64 | -12.28 | -5.82 |
| | GISS | 2×CO ₂ | 2.60 | 2.02 | 2.53 | 3.48 | 2.67 | 5.75 | 5.85 | 4.93 | 5.78 | 4.19 | 3.70 | 2.77 |
| | | 增減(%) | 11.11 | -29.62 | 5.42 | 33.33 | -11.00 | 43.39 | 38.30 | 23.87 | 29.60 | -8.32 | 10.78 | 0.73 |
| | 現況(1975-2000) | | 2.34 | 2.87 | 2.40 | 2.61 | 3.00 | 4.01 | 4.23 | 3.98 | 4.46 | 4.57 | 3.34 | 2.75 |
| 宜蘭 | HADCM3 | 短期 | 2.16 | 1.81 | 1.62 | 2.36 | 2.69 | 4.05 | 4.34 | 5.21 | 6.32 | 4.65 | 2.83 | 2.55 |
| | | 增減(%) | 18.68 | -6.22 | -0.61 | 9.77 | 3.86 | 31.92 | 20.89 | 19.22 | 23.92 | 3.56 | -21.39 | 12.33 |
| | | 中期 | 1.63 | 1.30 | 1.81 | 2.74 | 3.24 | 3.76 | 4.19 | 5.46 | 4.88 | 6.65 | 2.66 | 2.36 |
| | | 增減(%) | -10.44 | -32.64 | 11.04 | 27.44 | 25.10 | 22.48 | 16.71 | 24.94 | -4.31 | 48.11 | -26.11 | 3.96 |
| | | 長期 | 1.82 | 1.91 | 1.56 | 2.67 | 3.43 | 3.14 | 5.22 | 5.97 | 6.23 | 6.39 | 3.03 | 2.08 |
| | | 增減(%) | 0.00 | -1.04 | -4.29 | 24.19 | 32.43 | 2.28 | 45.40 | 36.61 | 22.16 | 42.32 | -15.83 | -8.37 |
| | GISS | 2×CO ₂ | 2.16 | 1.30 | 1.75 | 2.78 | 2.27 | 4.70 | 4.96 | 5.29 | 6.47 | 4.26 | 3.83 | 2.22 |
| | | 增減(%) | 18.68 | -32.64 | 7.36 | 29.30 | -12.36 | 53.09 | 38.16 | 21.05 | 26.86 | -5.12 | 6.39 | -2.20 |
| | 現況(1975-2000) | | 1.82 | 1.93 | 1.63 | 2.15 | 2.59 | 3.07 | 3.59 | 4.37 | 5.10 | 4.49 | 3.60 | 2.27 |
| 新竹 | HADCM3 | 短期 | 1.74 | 2.09 | 2.17 | 2.74 | 3.93 | 6.00 | 4.84 | 4.96 | 4.10 | 2.85 | 2.30 | 2.52 |
| | | 增減(%) | 7.41 | -6.28 | -4.41 | 9.60 | -3.91 | 37.30 | 16.35 | 30.18 | 29.75 | 20.76 | -11.54 | 35.48 |
| | | 中期 | 1.31 | 1.50 | 2.44 | 3.18 | 4.73 | 5.59 | 4.68 | 5.20 | 3.17 | 4.07 | 2.17 | 2.33 |
| | | 增減(%) | -19.14 | -32.74 | 7.49 | 27.20 | 15.65 | 27.92 | 12.50 | 36.48 | 0.32 | 72.46 | -16.54 | 25.27 |
| | | 長期 | 1.46 | 2.20 | 2.09 | 3.10 | 5.02 | 4.66 | 5.82 | 5.70 | 4.04 | 3.91 | 2.47 | 2.06 |
| | | 增減(%) | -9.88 | -1.35 | -7.93 | 24.00 | 22.74 | 6.64 | 39.90 | 49.61 | 27.85 | 65.68 | -5.00 | 10.75 |
| | GISS | 2×CO ₂ | 1.74 | 1.50 | 2.35 | 3.23 | 3.31 | 6.97 | 5.52 | 5.04 | 4.20 | 2.60 | 3.12 | 2.19 |
| | | 增減(%) | 7.41 | -32.74 | 3.52 | 29.20 | -19.07 | 59.50 | 32.69 | 32.28 | 32.91 | 10.17 | 20.00 | 17.74 |
| | 現況(1975-2000) | | 1.62 | 2.23 | 2.27 | 2.50 | 4.09 | 4.37 | 4.16 | 3.81 | 3.16 | 2.36 | 2.60 | 1.86 |

建議的雨量站則相當稀少，限於雨量站之設置與雨量資料之完整性，初步選取基隆、宜蘭與新竹等三個氣象站，共 26 年之資料進行分析。本文評選 GISS 及 HADCM3 兩個模式之輸出情境，模擬結果隱含著模式以及水文資料的不確定性等誤差，氣候變遷對台灣地區有效降雨事件以及有效雨量之影響，乃至於對降雨沖蝕指數之影響，仍有待全面性的評估。此外，在國外已發展一些氣候生成模式來結合水文及沖蝕模式

(Nicks and Gander, 1994)，以進行氣候變遷之衝擊影響評估，例如 CLIGEN 與 AGNPS (Agriculture NonPoint Source model)。然而，這些模式中的參數需要大量不同時間尺度的水文氣象資料來加以驗證及修訂，使其適合運用於台灣地區；因此，一個完整的水文氣象資料庫有待建立。

謝 誌

本研究承蒙國立台灣大學童慶斌教授、

國立中興大學盧昭堯教授以及蘇志強博士之協助，提供相關的雨量資料以及最大三十分鐘降雨強度資料，謹致謝忱。

參考文獻

1. 吳志剛、楊道昌、游保杉，2002，氣候變遷對高屏河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. 范正成、盧光輝，1993，台北地區最大三十分鐘降雨強度與平均降雨強度之關係—量測及分析，國科會專題研究計畫報告，NSC-81-0410-E-002-20。
3. 洪念民、譚義績，1997，氣候變遷對大安溪水資源營運之影響，國立台灣大學農業工程系碩士論文。
4. 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。
5. 童慶斌、李宗佑，2000，氣候變遷對七家灣溪流量之影響評估，農業工程學報，46(1)：p65-74。
6. 童慶斌、吳明進、張斐章、李明旭、柳文成、謝龍生，2002，氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置-氣候、水文、生態部分(一)，行政院環境保護署專題研究計畫報告，EPA-91-TA11-03-A100。
7. 楊文仁、范正成、張于漢，2005，台灣北部地區最大三十分鐘降雨強度之分析及預測，農業工程學報，51(3)：p1-10。
8. 羅俊雄、陳亮全、許銘熙、謝龍生，2002，納莉颱風災因分析及綜合評估檢討報告，防災國家型科技計畫辦公室，NAPHM90-17。
9. 鄭皆達、何智武、盧昭堯，1996，台北地區降雨特性及其與土壤沖蝕性公膝之研究，國科會專題研究計畫報告，NSC-86-2621-P-005-009。
10. 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。
11. 盧昭堯、蘇志強、吳藝芸，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。
12. Baffaut, C., M. A. Nearing, and A. D. Nick. 1996. Impact of CLIGEN parameters on WEPP-predicted average annual soil loss. *Trans. ASAE* 39(2): 447-457.
13. Brown, L. C. and G. R. Foster. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distribution. *Transaction of the ASAE* 30(2): 379-386.
14. Cooley, K. R. 1980. Erosivity values for individual storm design. *Jour. Irr. and Drainage Div. Amer. Soc. of Civil Engr.* 106(IR2): 135-145.
15. IPCC, WGI, 2001. *Climate Change 2001-The Scientific Basis: Contribution of Working Group I, to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson, 2001, Cambridge University Press, Cambridge, 2001, 881pp.
16. Nearing, A. M. 2001. Potential changes in rainfall erosivity in the U. S. with climate change during the 21st century. *J. Soil and Water Conserv.* 56(3):229-232.
17. Nicks, A. D., and Gander. 1994. CLIGEN: a weather generator for climate inputs to resource and other models. In *International Conference on Computers in Agriculture*, 5th, Feb. 6-9, 1994, 903-909. St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural Engineers.
18. Scheele, W. J. Elloit, and D. E. Halll. 2001. Enhancements to the CLIGEN Weather Generator for Mountainous or Custom Applications. *Soil Erosion Research for the 21st Century*, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA). Eds. J. C. Ascough II and D. C. Flanagan, St. Joseph, MI: ASAE. 701p007. Pp. 392-395.
19. Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool., and D. C. Yoder, coordinators. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A*

- Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U. S. Department of Agriculture Handbook 703. 384pp.
20. Tung, C. P. and Haith, D. A., 1995. Global Warming Effects on New York Stream flows. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 121(2):216-225.
21. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. USDA AGR. Handbook 537. USDA Science and Education Administration. 58 pp.
22. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39: 285-291.
23. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. *Agric. Handbk. No. 282*, U.S. Dept. of Agric., Washington, D.C. 47pp.
24. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation Planning. USDA AGR. Handbook 537. USDA Science and Education Administration. 58 pp.

收稿日期：民國 95 年 5 月 5 日

修正日期：民國 95 年 7 月 26 日

接受日期：民國 95 年 7 月 28 日