

台灣地區年等降雨沖蝕指數圖之修訂

盧昭堯^[1] 蘇志強^[2] 吳藝昀^[3]

摘要 本土性土壤流失推估模式之研發，對於台灣水土資源之永續利用極為重要。通用土壤流失公式(USLE)為目前世界各地應用最廣泛之土壤流失推估模式，近十幾年該公式於美國經修正，並更名為“修正之通用土壤流失公式”(RUSLE)。目前，美國農業部水土保持署已開始正式測試。然而，欲將 USLE 或 RUSLE 引用至台灣地區，必須考慮其地域上之差異。本研究主要針對通用土壤流失公式中之降雨沖蝕指數 (R) 做探討，歷經六年先後於中部台中、南投地區及北部陽明山、台北市區、東半部基隆、宜蘭、花蓮、台東等地區及西半部新竹、嘉義地區實測天然雨滴粒徑分佈，修正 USLE 降雨動能公式，並依據歷年有效降雨記錄，計算其年降雨沖蝕指數及月分佈。同時，參考吳嘉俊、王阿碧推導之屏東老埤地區降雨動能公式，配合高雄氣象站之歷年有效降雨記錄，計算其 R 值。此外，將全台劃分十個降雨分區，推求年 R 值與年降雨量關係式，修訂台灣地區之年等降雨沖蝕指數圖。

關鍵詞： 雨滴中徑、降雨動能、土壤沖蝕。

Revision of the Isoerodent Map for the Taiwan Area

Jau-Yau Lu^[1] Chih-Chiang Su^[2] I-Yun Wu^[3]

ABSTRACT The development of a soil erosion prediction model applicable to Taiwan is a very important issue for the sustainable development of soil and water resources. At present, the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the Revised USLE (RUSLE) are the most widely used soil erosion prediction models in the world. However, the regional variability of the parameters (including the rainfall erosivity factor) need to be considered in the application of these models. The main objective of this study is to investigate the variations in rainfall erosivity (R -factor) and the rainfall characteristics of different areas of Taiwan. Based on the natural rainfall data collected in the central areas of Taichung and Nantou, the northern areas of Yangming mountain and Taipei city, the eastern areas of Keelung, Ilan, Hualien and Taitung, and the western areas of Hsinchu and Chiayi, the respective rainfall kinetic energy equations were revised. The average annual values of the rainfall erosivity factor, R and the distributions of the monthly rainfall erosivity were also estimated. Finally, the isoerodent map for Taiwan area was revised based on the relationships of the R -value and the annual rainfall for different areas.

Key Words: median raindrop diameter, rainfall kinetic energy, soil erosion.

[1] 國立中興大學土木工程學系教授(通訊作者)

Professor, Department of Civil Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.
(Corresponding Author)

E-mail: jyly@mail.nchu.edu.tw

[2] 國立中興大學土木工程學系博士生

Doctoral graduate student, Department of Civil Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

[3] 國立中興大學土木工程學系碩士

Master, Department of Civil Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

一、前言

台灣地區地質脆弱，河川坡陡流急，難以涵養水源，每遇降雨季節極易產生土壤沖蝕之現象。土壤流失量持續增加將造成農業生產力降低、河道及水庫淤積、水質惡化等現象，影響居民之生命財產安全甚鉅。近年來全球氣候變遷，降雨特性迥異；且歷經九二一大地震，地質益加破碎。為減少水土災害，避免大量泥砂流入河道與水庫，以利水土資源之永續經營，台灣應盡速完成本土化之土壤沖蝕評估模式。

本研究針對通用土壤流失公式(USLE)中之降雨沖蝕指數(rainfall erosivity, or rainfall erosion index, R-factor)做探討，分析台灣自然降雨特性及其相關降雨沖蝕指數。因受中央山脈阻隔及位於季風氣候區影響，故將全台灣劃分十種降雨氣候分區。先後六年於各區之中央氣象局氣象站附近，以染色濾紙法實測天然雨滴樣本，進而迴歸各地之降雨動能公式，並根據歷年有效降雨記錄，計算年降雨沖蝕指數，分析其月分佈。

此外，依本研究相關測站其年降雨沖蝕指數與年降雨量之關係式，應用於各氣象分區內之雨量站，以計算各地區之年降雨沖蝕指數，修訂台灣地區年等降雨沖蝕指數圖。

二、文獻回顧

通用土壤流失公式與 RUSLE 之資料庫(CITY database)中，降雨沖蝕指數(Rainfall Erosivity, Rainfall Erosion Index, R-factor)具有地域性。黃俊德(1979)以全台八處測候所 20 年(1956-1975)自計日雨量資料為主，並以 200 個雨量站之月雨量資料為輔，完成台灣之等降雨沖蝕指數圖，惟該圖係根據 Wischmeier and Smith(1958)之降雨動能公式推估而得。盧光輝(1999)利用接近 20 年(1977-1994)全台各測站收集的降雨記錄，修訂降雨沖蝕指數，惟降雨動能之計算，受限於資料之缺乏，仍採用 Wischmeier and Smith (1958) 之降雨動能公式。

伍婉貞(1991)、吳嘉俊與王阿碧(1996)曾先後在台北市台大校區及屏東老埤地區，進行雨滴粒徑分佈之量測。整體而言，台灣地區關於天然降雨實測資料仍嫌不足，且東部地區闕如。

Van Dijk et al. (2002) 整合前人研究，根據自然降雨動能(E)與降雨強度(I)等資料，利用指數、對數及冪次等數學函數進行評估，發現以指數型式

$E = e_{\max}[1 - a \exp(-bxI)]$ 之描述為最佳。該公式在高降雨強度 ($> 50 \text{ mm/hr}$) 結果良好，同時有最大動能 e_{\max} 存在，在低降雨強度亦有最小動能 e_{\min} 。目前，RUSLE 已採此指數形式計算降雨動能。

三、研究方法

1. 實驗儀器與材料

本研究利用染色濾紙法(污點法)進行自然降雨之雨滴粒徑量測，所使用之儀器包括自行設計製造之雨滴採樣收集盒與雨量計、A3 之平台式掃描器、本研究開發之視窗版影像辨識擷取系統。實驗所採用之濾紙為英國 Whatman 公司編號 1 號之純白濾紙。

2. 雨滴粒徑與污點面積關係

將降雨時由染色濾紙所收集之雨滴污點，使用 2B 鉛筆描繪外廓，透過彩色影像辨識擷取系統，計算污點面積(A, cm^2)值。式(1)為已率定之污點面積(A, cm^2)與雨滴粒徑(D, mm)關係式。

$$D = 1.9576 \times A^{0.394} \quad (1)$$

3. 降雨動能計算

根據 Gunn and Kinzer (1949) 所研究之雨滴終端速度($v, \text{m/sec}$)與雨滴粒徑(D, mm)試驗資料，本研究迴歸出雨滴終端速度與粒徑間關係如下：

$$v = -0.1927 + 4.9626D - 0.9044D^2 + 0.0566D^3 \quad (2)$$

利用試區蒐集之自然雨滴粒徑資料，配合式(2)與動能公式，則可計算出該次試驗之單位面積單位深度(即單位體積)之降雨動能 ($E, \text{foot-tonf/acre-in}$)，亦即：

$$E = \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 / \sum V_i^3 \quad (3)$$

式(3)中 m_i 、 v_i 、 V_i 分別代表第 i 顆雨滴之質量，終端速度及體積。據此可迴歸出天然降雨動能與降雨強度之關係為 $E = a + b \log I$ 之數學形式。

4. 降雨沖蝕指數之計算

圖 1 為本研究降雨沖蝕指數計算之流程圖。於中央氣象局購置各試區歷年之逐時降雨記錄檔，利用本研究撰寫之有效降雨分割程式，可迅即判斷歷年每場有效降雨發生期間，並藉由搜集之原始降雨記錄紙，計算歷年每場有效降雨之最大三十分鐘降雨強度(I_{30})。

根據各地區修正之降雨動能公式，使用 Wischmeier and Smith (1978) 之參數 EI_{30} ，即可計算各場降雨之 R 值 ($R = EI_{30}/100$)，其中 E 與 I_{30} 分

別為該場降雨之單位面積總降雨動能及最大三十分鐘降雨強度。累計一年中每場(有效降雨)之沖蝕指數,即可得到各測區之年降雨沖蝕指數。關於降雨量與沖蝕指數之月分佈,本研究亦有初步之探討。

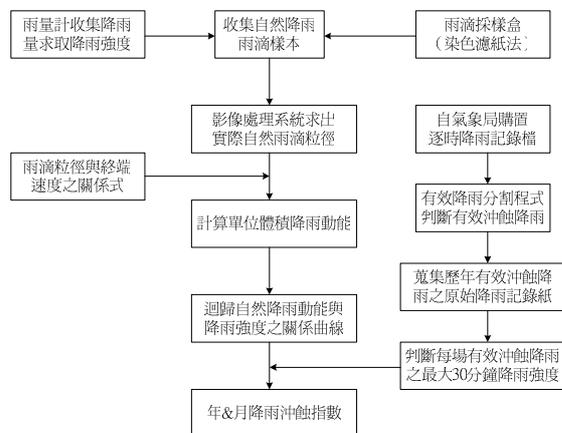


圖 1 降雨沖蝕指數計算之流程圖

Fig. 1 Flow chart for the calculation of the values of the rainfall erosivity factor

5. 台灣地區年等降雨沖蝕指數圖

本研究劃分台灣地區主要氣候分區,建立其代表測站之年降雨沖蝕指數與年降雨量相關式。蒐集氣象局全台之氣象站及自記雨量站(共 158 站)之年降雨紀錄各約 25 年,根據其所在氣候分區之關係式,計算各雨量站之年平均降雨沖蝕指數,並進而修訂台灣地區年等降雨沖蝕指數圖。

四、結果分析

本研究實測雨滴粒徑,先後歷經六年分別於台灣西半部與東半部(包括北、中、南)如表 1 所列各地區,實地收集雨滴粒徑樣本,並進行降雨動能及降雨沖蝕指數之探討。

1. 雨滴中值粒徑與降雨強度

表 2 列出各試區之雨滴中徑(D_{50})與降雨強度關係式,及其迴歸分析之判定係數(r^2)。將其繪如圖 2 並與 Laws and Parsons (1943)比較,顯示其雨滴中徑均隨降雨強度之增加而增加,上升趨勢相當一致。於同一降雨強度時(除台北地區外),東部地區之雨滴中徑普遍較其他地區為低。屏東地區(吳嘉俊、王阿碧, 1996)在降雨強度小於 65 mm/hr 時,雨滴中值粒徑

大於國內外各地區(台北陽明山區除外),但是當降雨強度大於 65 mm/hr 時,曲線逐漸趨緩。

表 1 各試區實測雨滴粒徑樣本數及試驗期間

Table 1 Sample size and data collection duration for each test site

試驗地區	樣本數	起訖時間
陽明山地區(Yang-Ming Mountain)	113	83.5~86.5
台北市區(Taipei)	20	86.1~86.5
基隆地區(Keelung)	32	91.4~92.6
宜蘭地區(Ilan)	69	90.7~91.6
花蓮地區(Hualien)	33	91.4~92.6
台東地區(Taitung)	58	90.7~91.6
新竹地區(Hsinchu)	52	92.4~92.9
台中地區(Taichung)	138	83.4~86.5
嘉義地區(Chiayi)	72	92.4~92.9
南投蓮華池地區(Lien-Hua-Chi)	67	83.5~86.9

2. 降雨動能與降雨強度之關係

為便於與前人研究比較,將單位體積降雨動能與降雨強度採對數關係式,迴歸成 $E = a + b \times \log I$ 之數學形式。表 3(a)為本研究與國內各地區雨滴之單位體積降雨動能與降雨強度關係式之比較。

進一步採 Van Dijk et al. (2002) 建議之指數關係式 $E = e_{max}[1 - a \times \exp(-bx/I)]$ 描述,以非線性迴歸分析,其結果列如表 3(b)。

此外,將所有試區之實測單位體積降雨動能與降雨強度等資料,分別依對數(USLE)與指數(RUSLE)形式進行迴歸分析,所得之降雨動能曲線比較如圖 3。由圖中可知中、低強度降雨,兩種形式趨勢差異不大;高強度降雨時,指數形式受限數學函數曲線上升趨緩。同時,將近年研究試區之歷年(1975 至 2000 年)最大 I_{30} 代入各試區之動能公式(表 3),平均差異百分比為 7.5 % (如表 4 所示)。故本研究各試區仍採用對數($E = a + b \times \log I$)之數學形式,以利與國內先前研究比較;而屏東地區(Pingtung)則參考吳嘉俊、王阿碧(1996)所建議之降雨動能曲線。此外,圖 3 為台灣地區天然雨滴綜合之降雨動能曲線,就個別測站而言,其降雨動能曲線仍有緩升之趨勢,且各測站之特性不一、詳見吳上智(1997)、吳藝昀(2004)。圖 4 為各試區之降雨動能曲線比較圖,基本上,此等曲線和雨滴中值粒徑與降雨強度之關係曲線趨勢一致。

表 2 雨滴中值粒徑與降雨強度之關係式

Table 2 Relationship between median drop diameter and rainfall intensity for each test site

地區	$D_{50} = a \cdot I^b$		判定係數 r^2	顯著性
	a	b		
台北陽明山區	0.978	0.249	0.52	**
台北地區	0.950	0.199	0.55	**
基隆地區	1.201	0.175	0.49	**
宜蘭地區	1.237	0.146	0.42	**
花蓮地區	1.254	0.139	0.25	*
台東地區	1.259	0.152	0.48	**
新竹地區	1.207	0.187	0.55	**
台中地區	1.220	0.173	0.51	**
嘉義地區	0.991	0.229	0.75	**
屏東地區	1.753	0.099	0.49	**
南投蓮華池地區	1.436	0.133	0.34	**

註：(a) D_{50} 之單位為 (mm)， I 之單位為 (mm/hr)
 (b) *：指在 $\alpha = 0.05$ 水準下，關係式顯著
 **：指在 $\alpha = 0.01$ 水準下，關係式顯著

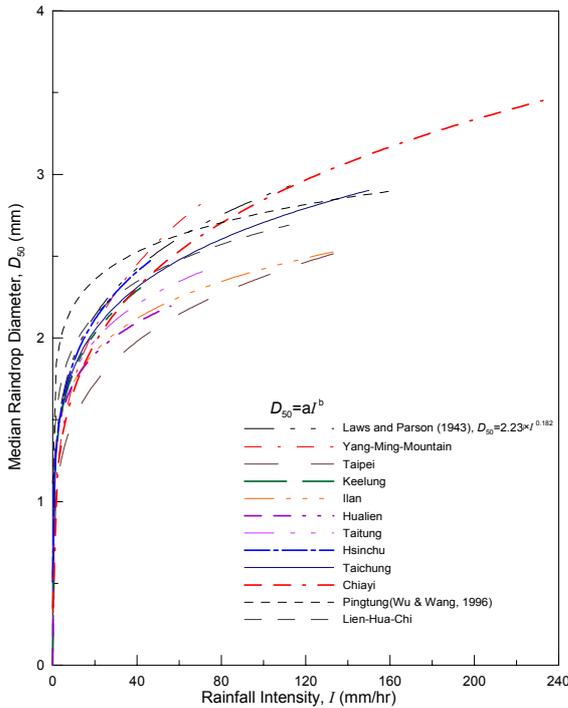


圖 2 各試區雨滴中值粒徑及降雨強度關係之比較
Fig. 2 Comparison of the relationships between median drop diameter and rainfall intensity for different test sites

表 3(a) 各試區降雨動能與降雨強度之關係式(對數形式)

Table 3(a) Relationship between rainfall kinetic energy and rainfall intensity for each test site (logarithmic type)

地區	$E = a + b \times \log I$		判定係數 r^2	顯著性
	a	b		
台北陽明山區	873.77	416.52	0.50	**
台北地區	745.58	350.51	0.62	**
基隆地區	836.32	323.08	0.54	**
宜蘭地區	781.58	267.22	0.45	**
花蓮地區	756.30	230.33	0.24	*
台東地區	785.82	229.55	0.44	**
新竹地區	830.16	274.65	0.49	**
台中地區	870.73	324.35	0.52	**
嘉義地區	808.35	321.81	0.70	**
屏東地區	930.96	238.54	0.24	**
南投蓮華池地區	897.65	242.73	0.34	*
台灣地區	883	313	0.46	**

註：(a) E 之單位為 (foot-tonf/acre-in)， I 之單位為 (in/hr)
 (b) *：指在 $\alpha = 0.05$ 水準下，關係式顯著
 **：指在 $\alpha = 0.01$ 水準下，關係式顯著

表 3(b) 各試區降雨動能與降雨強度之關係式(指數形式)

Table 3(b) Relationship between rainfall kinetic energy and rainfall intensity for each test site (exponential type)

地區	$E = e_{max} [1 - a \exp(-bI)]$			判定係數 r^2	顯著性
	e_{max}	a	b		
台北陽明山區	23.7	0.72	0.128	0.29	**
台北地區	40.3	0.73	0.007	0.63	**
基隆地區	24.8	0.58	0.078	0.57	**
宜蘭地區	26.1	0.49	0.031	0.43	**
花蓮地區	22.1	0.48	0.080	0.23	**
台東地區	24.7	0.56	0.072	0.49	**
新竹地區	32.1	0.61	0.030	0.55	**
台中地區	29.8	0.50	0.028	0.54	**
嘉義地區	29.9	0.64	0.028	0.76	**
屏東地區	27.2	0.43	0.074	0.26	**
南投蓮華池地區	24.9	0.32	0.058	0.24	**
台灣地區	26.8	0.56	0.072	0.47	**

註：(a) E 之單位為 ($J/m^2 \cdot mm$)， I 之單位為 (mm/hr)
 (b) **：指在 $\alpha = 0.01$ 水準下，關係式顯著

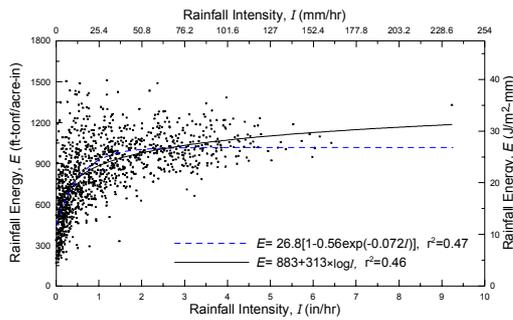


圖 3 台灣地區雨滴單位體積降雨動能與降雨強度之關係圖

Fig. 3 Relationship between rainfall energy(per volume) and rainfall intensity for Taiwan area

表 4 本研究各試區採 USLE 與 RUSLE 關係式之單場降雨動能差異百分比

Table 4 Percentage difference of rainfall energies calculated from USLE and RUSLE

地區	I_{30} (mm/hr)	USLE (E) (a)	RUSLE (E) (b)	差異 Δ (%) (c)
基隆地區	118	1051	940	10.6
宜蘭地區	107	949	972	2.4
花蓮地區	135	923	838	9.2
台東地區	120	941	936	0.5
新竹地區	126	1021	1200	17.5
嘉義地區	128	1034	1113	7.7
屏東地區	104	1077	1031	4.3
平均值	—	—	—	7.5

註：(a) $E = a + b \times \log I$ (b) $E = e_{max} [1 - a \times \exp(-b \times I)]$
 (c) $\Delta = 100 | (a) - (b) | / (a)$

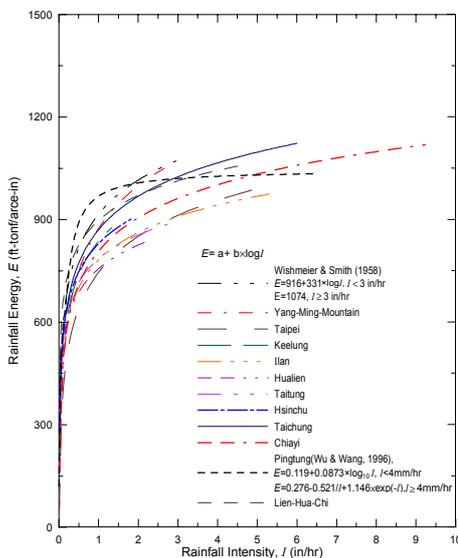


圖 4 各試區降雨動能及降雨強度關係比較圖

Fig. 4 Comparison of rainfall energy(per volume)

and rainfall intensity for different test sites

3. 降雨沖蝕指數

(1) 年降雨沖蝕指數

經由圖 1 所列之流程分析, 本研究將各試區之年平均降雨量與降雨沖蝕指數之綜合比較列如表 5。

台灣地區因中央山脈地形影響, 產生迎風面差異。就台灣西半部之高雄、嘉義、台中及新竹等四地區而言, 均位處西南氣流之迎風面, 偏北之新竹因受山脈屏障, 颱風影響較小, 然梅雨之對流雨滯留效應較強; 台中、嘉義及高雄地區受梅雨影響較低, 但颱風季節則降雨集中, 產生較高強度降雨(由分析之 I_{30} 可得知)。由表 5 可知, 此四地區之年平均有效降雨量雖相近, 然隨緯度愈低, 受颱風影響愈大, 其年平均 R 值亦愈大。

台灣北部及東部地區(除台北地區外), 隨地勢及緯度高低, 深受東北季風綿綿細雨之降雨特性影響, 有效降雨延時長致累積降雨量稍大, 然最大三十分鐘降雨強度小。受東北季風影響之致, 北部及東部年平均有效降雨普遍高於西部地區, 惟受颱風高降雨強度影響如高雄地區, 其年平均降雨沖蝕指數反高於東部地區。由表 5 中可知, 台北陽明山、基隆、宜蘭、花蓮與台東等地區, 隨緯度愈高, 其年平均有效降雨量愈高, 且年平均降雨沖蝕指數亦愈高。

(2) 降雨沖蝕指數月分佈

台灣面積雖小, 降雨時期受地理環境支配, 四季頗有不同; 春季的梅雨、夏秋兩季的颱風、冬季的東北季風等影響, 故各地區降雨特性受地形因素呈現截然不同的降雨型態。降雨沖蝕指數大小與降雨特性及型態有密切之關係, 本研究將上述四地區及相關試區歷年各月之降雨沖蝕指數予以平均, 以瞭解月降雨沖蝕指數變化之趨勢。

就台灣整體而言, 在冬季各月, 東北季風盛行, 常將東部海面上大量水汽帶到陸地, 遇到山地氣流舉升而成雲致雨, 因此北部的冬季為雨季; 季風吹到南部時, 受中央山脈阻隔, 水汽多已凝失而不易降水, 所以冬季的南部為乾季。在夏季各月, 西南季風盛行, 風力溫和, 在炎日下容易產生對流性陣雨, 為中南部帶來大量降水; 因此, 南部的夏季為雨季, 在此期間北部地區降雨量相對較少, 但仍是雨季。

表 5 本研究相關試區之年平均降雨量與年平均降雨沖蝕指數之關係表

Table 5 Relationships between average annual rainfall and average annual rainfall erosivity for various test sites

地區	資料期距	年平均降雨量 (mm)	年平均有效降雨量 (mm)	年平均降雨沖蝕指數 R
台北陽明山區	1975-1994(20 年)	4518.2	4150.6	1209.7
台北地區	1975-1995(21 年)	2272.8	1926.1	529.7
基隆地區	1975-2000(26 年)	3782.7	3368.2	935.4
宜蘭地區	1975-2000(26 年)	2777.1	2301.5	808.0
花蓮地區	1975-2000(26 年)	2112.3	1727.5	788.2
台東地區	1975-2000(26 年)	1771.7	1491.8	748.7
新竹地區	1975-2000(26 年)	1779.9	1505.7	518.4
台中地區	1975-1994(20 年)	1622.2	1436.0	562.6
嘉義地區	1975-2000(26 年)	1698.9	1443.6	795.6
高雄地區	1975-2000(26 年)	1766.9	1542.8	1013.2
南投蓮華池地區	1982-1992(9 年)	1920.3	1621.3	591.4

註：(a)R之單位為(100 ft·tonf·in/ac·hr·yr)

(b)高雄地區參考吳嘉俊、王阿碧(1996)推導之降雨動能公式

國內各地區降雨時期雨量最多者在 6 月至 9 月，台北陽明山地區較傾向於秋雨型；東北部的基隆及宜蘭地區冬季受東北季風影響，常陰雨連綿；台北地區為一盆地，四季雨水較為均勻；花蓮及台東地區雨量則集中於夏季颱風過境季節；中部地區雨量夏多而冬少，嘉義及高雄地區雨量則集中在夏秋兩季，如圖 5。圖 6 為本研究與國內相關地區之月平均降雨沖蝕指數隨月份變化之比較圖，由圖可知，北部及東部地區冬季受東北季風影響，此一時期之月平均降雨沖蝕指數普遍高於西部地區。西部地區則春季後漸受西南季風影響，月平均降雨沖蝕指數較東部不受東北季風影響之花蓮及台東地區為高。

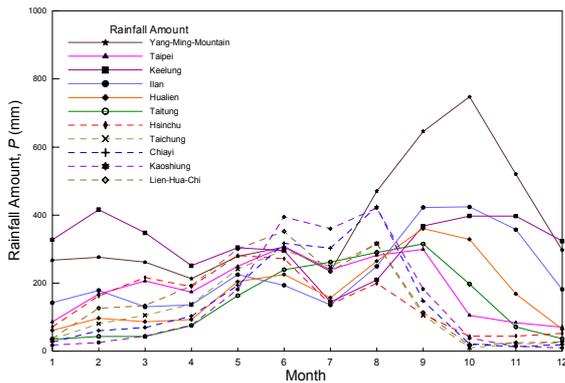


圖 5 本研究與國內相關試區月平均降雨量隨月份變化之比較圖

Fig.5 Comparison of the monthly variations of the rainfall amount for various test sites

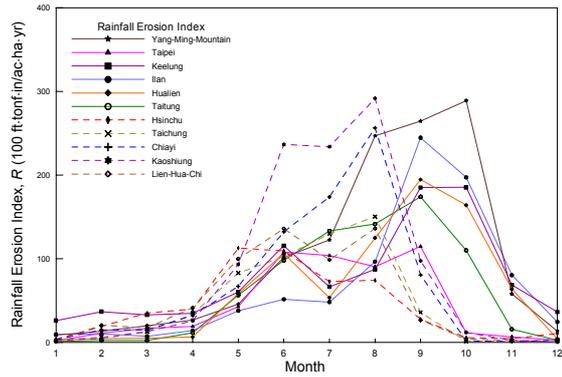


圖 6 本研究與國內相關試區月平均降雨沖蝕指數隨月份變化之比較圖

Fig.6 Comparison of the monthly variations of the rainfall erosion index for various test sites

4. 台灣地區年等降雨沖蝕指數圖之修訂

近年來受溫室效應影響，全球氣候產生劇烈變遷，對生活環境產生直接之衝擊，而台灣地區降雨型態亦逐漸改變當中。圖 7 為台灣地區近 26 年間（1975~2000）之年平均降雨量變化圖，顯示降雨量有逐漸下降之趨勢。

台灣為一海島，雨量分佈受地形及氣候影響，高山多於平地，東岸多於西岸。中部山區年平降雨量多在 3000 mm 左右，迎風坡可達 4000~5000 mm，東部沿海各地年雨量自 1500~3000 mm 不等，西部平原接近山麓地帶則多在 1500~2000 mm，各地區呈現截然不同之降雨型態。本研究依據台灣地區之地形、地勢高低與降雨特性，將全台區分為十個降雨氣候分區。東半部地區依其行政分界劃分為三個氣候區，西半部地區以大肚溪為界，北部平原狹小不似西南部平原廣闊，而且沿海至山麓地帶地勢變化較快，故將新竹、苗栗及台中地區海拔高於 1500~2000 公尺以上，屬於中部山區；彰化、雲林、嘉義及台南地區地勢變化較為平緩，將靠近山麓地帶海拔高於 500~1000 公尺以上，屬於中南部山區，如圖 8。建立各分區代表測站，年降雨量與降雨沖蝕指數之關係如表 6 所示，其中判定係數 $r^2 = 0.6 \sim 0.9$ ，顯示其相關性良好。

本研究參考盧光輝（1999）分析之雨量站，收集各分區中央氣象局與水利署等單位所屬 158 個自計雨量站（含代表測站，其分佈如圖 9）之歷年（1975-2000）降雨記錄。依據表 6 之關係式推估其

年降雨沖蝕指數, 結果列如表 7(a)、(b), 並繪出本研究探討之 158 個雨量站 1975-2000 年間之年等降雨量圖及年等降雨沖蝕指數圖 (參見圖 10 及圖 11(a)、(b))。由圖可知, 不論是等降雨量或等降雨沖蝕指數, 愈往山區愈有局部最大值出現之趨勢。

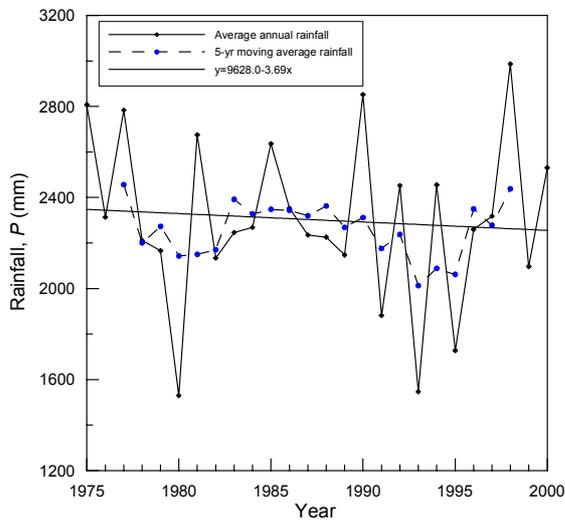


圖 7 台灣地區年平均降雨量及五年移動平均線(1975 至 2000 年)

Fig.7 Variations of the average annual rainfall between 1975 and 2000, and the 5-year moving average regression line

表 6 台灣地區年降雨沖蝕指數與年降雨量之相關式
Table 6 Relationships between annual rainfall erosion index and annual rainfall for different regions in Taiwan

降雨氣候分區	年降雨沖蝕指數與年降雨量之關係式 $R = a \cdot P^b$		判定係數 r^2	顯著性
	a	b		
北部地區(台北試區)	0.000911	1.71557	0.60	**
東北部地區(基隆試區)	0.000013	2.18615	0.69	**
宜蘭地區(宜蘭試區)	0.000103	1.99179	0.82	**
花蓮地區(花蓮試區)	0.000891	1.78248	0.83	**
台東地區(台東試區)	0.003030	1.65534	0.90	**
西北部地區(新竹試區)	0.000294	1.91672	0.73	**
中部地區(台中試區)	0.003265	1.62653	0.67	**
西南部地區(嘉義試區)	0.001170	1.79835	0.82	**
南部地區(高雄試區)	0.006666	1.58975	0.85	**
中部、中南部山區(南投蓮花池試區)	0.020653	1.35072	0.64	*

註: (a) R之單位為(100ft · tonf · in/ac · hr · yr); P之單位為(mm)

(b) *: 指在 $\alpha = 0.05$ 水準下, 關係式顯著

** *: 指在 $\alpha = 0.01$ 水準下, 關係式顯著

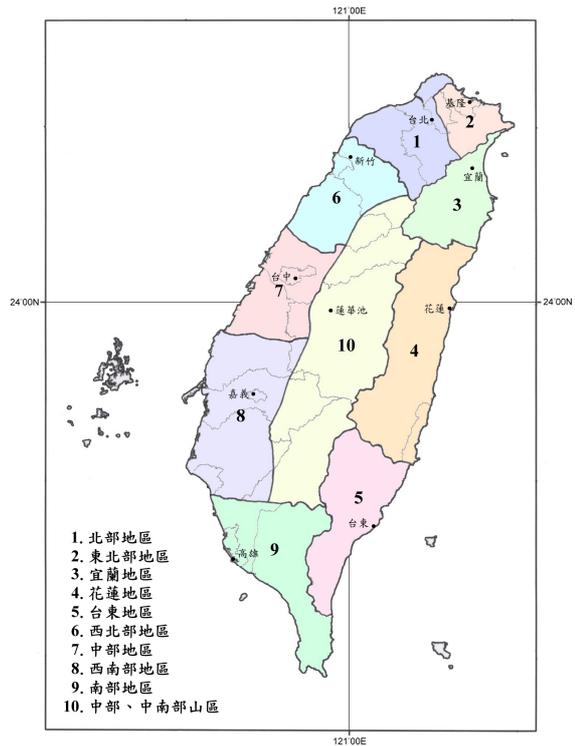


圖 8 本研究劃分之台灣地區十個降雨氣候分區

Fig.8 Ten rainfall-climate regions in Taiwan as classified in this study

將本研究修正之年等降雨沖蝕指數圖與黃俊德 (1979) 及盧光輝 (1999) 比較可發現, 因本研究採用資料年限與盧光輝 (1999) 較為相近, 故其整體變化趨勢頗為一致。此外, 三者最大指數中心位置皆在屏東泰武附近。整體而言, 本研究各試區之年平均降雨沖蝕指數皆較黃俊德 (1979) 或盧光輝 (1999) 為高。研判乃本研究於各地區實測自然雨滴資料, 修正降雨動能, 並根據原始降雨記錄紙計算最大三十分鐘降雨強度, 而非沿用 Wischmeier and Smith (1958) 推導之動能公式間接推估降雨沖蝕指數所致。本研究修正之台灣地區年等降雨沖蝕指數圖, 應具可靠性與參考應用價值。

五、結 論

1. 本研究以染色濾紙法實測天然雨滴粒徑, 並計算降雨動能。歷經六年, 分別於台灣西半部與東半部(包括北、中、南區域)之十代表測站收集雨滴樣本。整體而言, 各地區其雨滴中值粒徑、降雨動能與降雨強度之關係良好。

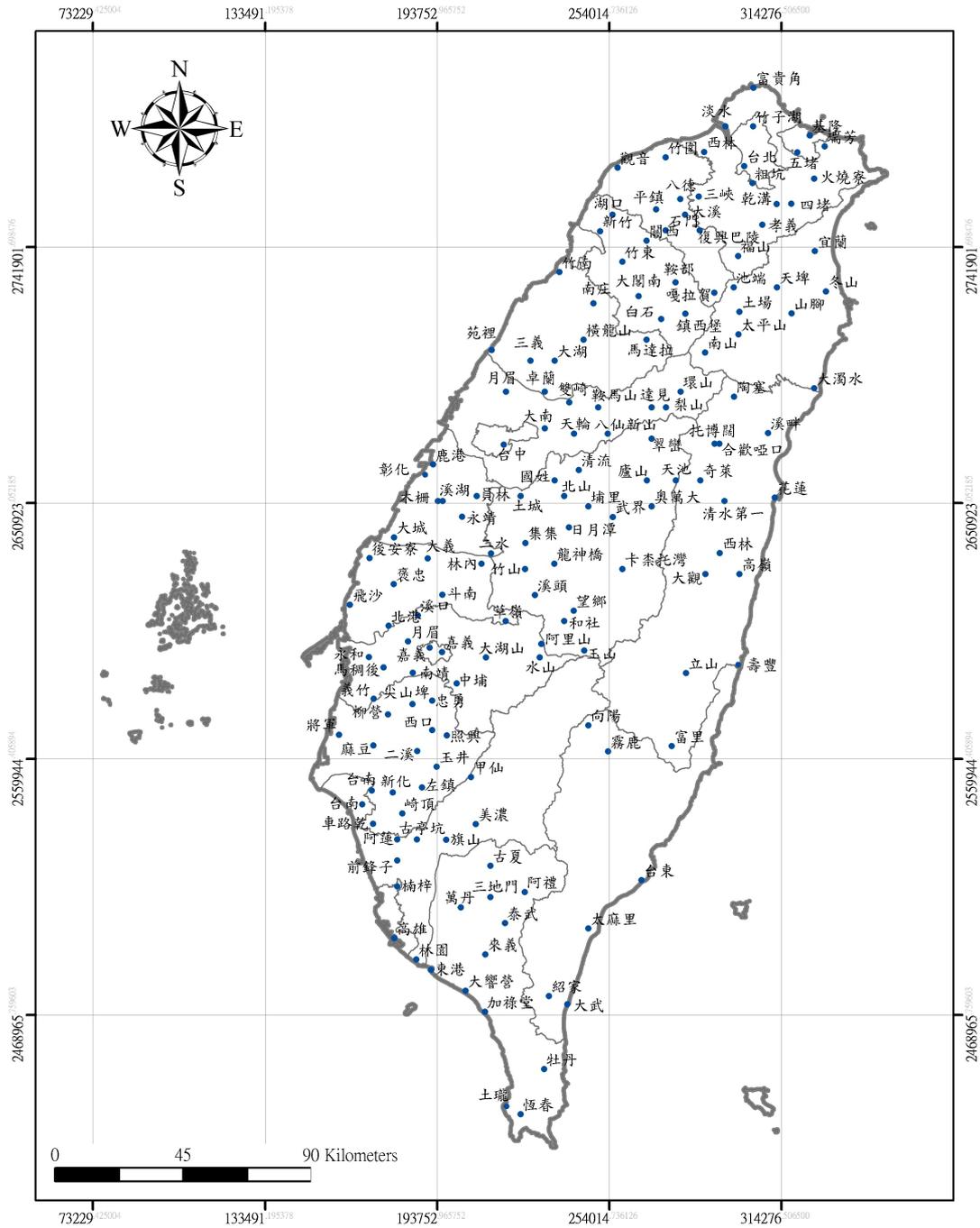


圖 9 本研究探討台灣地區雨量站之位置分佈圖

Fig.9 Distribution of rainfall stations discussed in this study for Taiwan area

表 7(a) 台灣地區各降雨分區內雨量站之年平均降雨量及推估年平均降雨沖蝕指數表(英制)

Table 7(a) Average annual rainfall amounts and average annual values of the rainfall erosion index (R values) for various rainfall stations in Taiwan (English unit)

測站	統計年數 (64-89)	年平均降雨量 (mm)	年平均 R 值	測站	統計年數 (64-89)	年平均降雨量 (mm)	年平均 R 值	測站	統計年數 (64-89)	年平均降雨量 (mm)	年平均 R 值
北部地區(16 雨量測站)				太麻里	12	1831.0	762.6	照興	24	2291.0	1290.3
富貴角	25	2277.6	524.2	西北部地區(12 雨量測站)				尖山埤	24	1596.3	673.8
台北	26	2365.8	559.5	關西	20	2294.6	812.6	南部地區(18 雨量測站)			
淡水	26	2155.3	476.9	湖口	22	1723.7	469.6	高雄	26	1766.9	1013.2
三峽	25	2373.9	562.8	新竹	26	1779.9	518.4	古夏	25	3108.1	2377.2
福山	24	3280.7	980.4	鞍部	15	3135.1	1478.1	阿禮	24	3735.3	3184.0
孝義	24	3476.2	1082.7	竹東	14	2105.8	689.3	三地門	26	2842.4	2062.3
粗坑	24	2725.5	713.3	大閣南	26	2426.5	904.5	萬丹	7	2031.6	1209.2
西林	4	1916.4	389.8	竹南	14	1499.7	359.6	牡丹	25	2788.1	2000.1
竹圍	23	1545.0	269.4	大湖	26	2162.6	725.4	東港	24	1881.2	1070.0
大溪	23	2383.5	566.7	三義	26	1867.4	547.5	泰武	19	4732.3	4637.8
八德	23	1939.5	397.9	苑裡	20	1268.5	260.9	來義	24	3440.6	2794.0
平鎮	24	2141.9	471.8	南庄	26	2516.1	969.6	大響營	24	2013.9	1192.5
巴陵	16	2390.4	569.6	橫龍山	26	2518.1	971.1	加祿堂	24	1898.8	1086.0
石門	16	2727.5	714.2	中部地區(15 雨量測站)				恆春	26	1956.1	1138.6
觀音	23	1640.9	298.7	台中	26	1645.3	556.2	土壠	6	4085.7	3671.8
嘎拉賀	16	2540.5	632.3	雙崎	26	2673.5	1225.0	阿蓮	26	1892.2	1080.0
東北地區(7 雨量測站)				月眉	21	1591.8	527.0	前鋒子	14	1716.4	924.9
基隆	26	3782.7	935.4	大南	24	2093.7	823.1	楠梓	5	1998.0	1177.6
瑞芳	25	4718.9	1398.0	卓蘭	20	1973.3	747.5	林園	19	1610.2	835.6
五堵	25	3913.9	928.8	土城	24	1846.9	671.2	古亭坑	26	2093.1	1267.9
火燒寮	26	4679.5	1372.6	木柵	25	2287.7	950.7	中部、中南部山區(34 雨量測站)			
乾溝	6	2745.5	427.8	大城	24	1229.0	346.1	白石	16	2653.2	870.0
四堵	6	3672.4	808.1	溪湖	23	1305.2	381.6	鞍馬山	7	3666.2	1346.6
竹子湖	26	4416.0	1209.3	永靖	24	1364.0	410.0	環山	23	2140.2	650.9
宜蘭地區(9 雨量測站)				員林	14	1333.9	395.4	達見	24	2441.4	777.6
宜蘭	26	2777.1	808.0	彰化	24	1273.1	366.4	梨山	24	2208.1	678.9
冬山	26	3519.5	1193.1	鹿港	26	1041.0	264.2	八仙新山	19	2904.0	982.9
南山	25	2358.9	537.7	林內	26	1886.8	694.9	天輪	23	2259.0	700.1
太平山	4	2486.2	597.1	二水	24	1897.1	701.1	翠巒	22	2764.2	919.6
土場	26	2599.2	652.4	西南部地區(27 雨量測站)				清流	26	2130.9	647.1
池端	16	4078.2	1600.0	永和	24	1350.3	498.6	國姓	24	2242.2	693.1
天埤	24	3519.3	1193.0	馬稠後	22	1368.4	510.7	埔里	24	2090.4	630.5
山腳	4	4570.1	2007.4	義竹	14	1433.1	555.0	蓮華池	9	1920.3	591.4
大濁水	26	2420.1	565.9	南靖	24	1502.4	604.2	竹山	24	2227.4	686.9
花蓮地區(13 雨量測站)				嘉義	26	1698.9	795.6	武界	22	2276.6	707.5
溪畔	24	2060.7	719.5	月眉	24	1434.7	556.1	奧萬大	23	2558.8	828.5
合歡啞口	24	3035.1	1434.8	中埔	17	2327.3	1327.3	天池	13	4524.8	1789.2
托博閣	6	2002.3	683.6	溪口	26	1404.4	535.2	廬山	21	2555.2	826.9
陶塞	6	2282.6	863.4	後安寮	25	1081.2	334.4	和社	24	1392.0	364.1
花蓮	26	2112.3	788.2	飛沙	24	1143.8	370.0	集集	24	2212.6	680.8
大觀	13	4539.5	2940.4	褒忠	19	1101.0	345.5	溪頭	20	2409.4	763.8
奇萊	20	3178.5	1557.8	斗南	24	1443.2	562.0	玉山	26	3014.1	1033.6
西林	26	2578.3	1072.8	北港	26	1339.0	491.2	卡柰托灣	23	1601.3	439.9
清水第一	24	2098.9	743.4	大義	23	1168.6	384.5	望鄉	22	2504.9	805.0
壽豐	20	1988.5	675.2	西口	24	2226.4	1225.6	日月潭	26	2400.3	759.9
高嶺	12	3160.2	1541.9	柳營	22	1499.5	602.1	龍神橋	26	2093.6	631.8
立山	26	2108.7	749.7	麻豆	22	1508.9	608.9	馬達拉	19	2857.7	961.8
富里	4	1448.9	384.0	新化	23	1853.6	881.5	鎮西堡	16	2255.1	698.5
台東地區(7 雨量測站)				崎頂	25	1956.2	971.1	甲仙	25	2705.3	893.2
向陽	26	3414.8	2139.7	台南	23	1642.4	709.2	旗山	11	2243.6	693.7
大武	26	2200.6	1033.9	將軍	24	1383.4	520.9	美濃	24	2845.9	956.5
紹家	25	2347.9	1150.9	玉井	10	1789.5	827.4	草嶺	25	2553.0	826.0
霧鹿	26	1729.4	693.9	二溪	18	2009.5	1019.3	大湖山	26	3214.1	1127.3
台東	26	1771.7	748.7	左鎮	18	1941.6	958.1	水山	9	2911.0	986.1
忠勇	26	2215.1	1045.2	車路乾	24	1736.7	784.0	阿里山	26	3848.2	1437.7

註：R之單位為(100 ft · tonf · in / ac · hr · yr)

表 7(b) 台灣地區各降雨分區內雨量站之年平均降雨量及推估年平均降雨沖蝕指數表(公制)

Table 7(b) Average annual rainfall amounts and average annual values of the rainfall erosion index (R values) for various rainfall stations in Taiwan (SI unit)

測站	統計年數 (64-89)	年平均降雨量 (mm)	年平均 R 值	測站	統計年數 (64-89)	年平均降雨量 (mm)	年平均 R 值	測站	統計年數 (64-89)	年平均降雨量 (mm)	年平均 R 值
北部地區(16 雨量測站)				太麻里	12	1831.0	131.2	照興	24	2291.0	221.9
富貴角	25	2277.6	90.2	西北部地區(12 雨量測站)				尖山埤	24	1596.3	115.9
台北	26	2365.8	96.2	關西	20	2294.6	139.8	南部地區(18 雨量測站)			
淡水	26	2155.3	82.0	湖口	22	1723.7	80.8	高雄	26	1766.9	174.3
三峽	25	2373.9	96.8	新竹	26	1779.9	89.2	古夏	25	3108.1	408.9
福山	24	3280.7	168.6	鞍部	15	3135.1	254.2	阿禮	24	3735.3	547.6
孝義	24	3476.2	186.2	竹東	14	2105.8	118.6	三地門	26	2842.4	354.7
粗坑	24	2725.5	122.7	大閣南	26	2426.5	155.6	萬丹	7	2031.6	208.0
西林	4	1916.4	67.0	竹南	14	1499.7	61.9	牡丹	25	2788.1	344.0
竹圍	23	1545.0	46.3	大湖	26	2162.6	124.8	東港	24	1881.2	184.0
大溪	23	2383.5	97.5	三義	26	1867.4	94.2	泰武	19	4732.3	797.7
八德	23	1939.5	68.4	苑裡	20	1268.5	44.9	來義	24	3440.6	480.6
平鎮	24	2141.9	81.1	南庄	26	2516.1	166.8	大響營	24	2013.9	205.1
巴陵	16	2390.4	98.0	橫龍山	26	2518.1	167.0	加祿堂	24	1898.8	186.8
石門	16	2727.5	122.8	中部地區(15 雨量測站)				恆春	26	1956.1	195.8
觀音	23	1640.9	51.4	台中	26	1645.3	95.7	土壠	6	4085.7	631.5
嘎拉賀	16	2540.5	108.8	雙崎	26	2673.5	210.7	阿蓮	26	1892.2	185.8
東北地區(7 雨量測站)				月眉	21	1591.8	90.6	前鋒子	14	1716.4	159.1
基隆	26	3782.7	160.9	大南	24	2093.7	141.6	楠梓	5	1998.0	202.5
瑞芳	25	4718.9	240.5	卓蘭	20	1973.3	128.6	林園	19	1610.2	143.7
五堵	25	3913.9	159.8	土城	24	1846.9	115.4	古亭坑	26	2093.1	218.1
火燒寮	26	4679.5	236.1	木柵	25	2287.7	163.5	中部、中南部山區(34 雨量測站)			
乾溝	6	2745.5	73.6	大城	24	1229.0	59.5	白石	16	2653.2	149.6
四堵	6	3672.4	139.0	溪湖	23	1305.2	65.6	鞍馬山	7	3666.2	231.6
竹子湖	26	4416.0	208.0	永靖	24	1364.0	70.5	環山	23	2140.2	112.0
宜蘭地區(9 雨量測站)				員林	14	1333.9	68.0	達見	24	2441.4	133.7
宜蘭	26	2777.1	139.0	彰化	24	1273.1	63.0	梨山	24	2208.1	116.8
冬山	26	3519.5	205.2	鹿港	26	1041.0	45.4	八仙新山	19	2904.0	169.1
南山	25	2358.9	92.5	林內	26	1886.8	119.5	天輪	23	2259.0	120.4
太平山	4	2486.2	102.7	二水	24	1897.1	120.6	翠巒	22	2764.2	158.2
土場	26	2599.2	112.2	西南部地區(27 雨量測站)				清流	26	2130.9	111.3
池端	16	4078.2	275.2	永和	24	1350.3	85.8	國姓	24	2242.2	119.2
天埤	24	3519.3	205.2	馬稠後	22	1368.4	87.8	埔里	24	2090.4	108.4
山腳	4	4570.1	345.3	義竹	14	1433.1	95.5	蓮華池	9	1920.3	101.7
大濁水	26	2420.1	97.3	南靖	24	1502.4	103.9	竹山	24	2227.4	118.1
花蓮地區(13 雨量測站)				嘉義	26	1698.9	136.8	武界	22	2276.6	121.7
溪畔	24	2060.7	123.8	月眉	24	1434.7	95.6	奧萬大	23	2558.8	142.5
合歡啞口	24	3035.1	246.8	中埔	17	2327.3	228.3	天池	13	4524.8	307.7
托博閣	6	2002.3	117.6	溪口	26	1404.4	92.1	廬山	21	2555.2	142.2
陶塞	6	2282.6	148.5	後寮寮	25	1081.2	57.5	和社	24	1392.0	62.6
花蓮	26	2112.3	135.6	飛沙	24	1143.8	63.6	集集	24	2212.6	117.1
大觀	13	4539.5	505.7	褒忠	19	1101.0	59.4	溪頭	20	2409.4	131.4
奇萊	20	3178.5	267.9	斗南	24	1443.2	96.7	玉山	26	3014.1	177.8
西林	26	2578.3	184.5	北港	26	1339.0	84.5	卡奈托灣	23	1601.3	75.7
清水第一	24	2098.9	127.9	大義	23	1168.6	66.1	望鄉	22	2504.9	138.5
壽豐	20	1988.5	116.1	西口	24	2226.4	210.8	日月潭	26	2400.3	130.7
高嶺	12	3160.2	265.2	柳管	22	1499.5	103.6	龍神橋	26	2093.6	108.7
立山	26	2108.7	128.9	麻豆	22	1508.9	104.7	馬達拉	19	2857.7	165.4
富里	4	1448.9	66.0	新化	23	1853.6	151.6	鎮西堡	16	2255.1	120.1
台東地區(7 雨量測站)				崎頂	25	1956.2	167.0	甲仙	25	2705.3	153.6
向陽	26	3414.8	368.0	台南	23	1642.4	122.0	旗山	11	2243.6	119.3
大武	26	2200.6	177.8	將軍	24	1383.4	89.6	美濃	24	2845.9	164.5
紹家	25	2347.9	198.0	玉井	10	1789.5	142.3	草嶺	25	2553.0	142.1
霧鹿	26	1729.4	119.4	二溪	18	2009.5	175.3	大湖山	26	3214.1	193.9
台東	26	1771.7	128.8	左鎮	18	1941.6	164.8	水山	9	2911.0	169.6
忠勇	26	2215.1	179.8	車路乾	24	1736.7	134.8	阿里山	26	3848.2	247.3

註：R之單位為(100MJ·mm/ha·hr·yr)

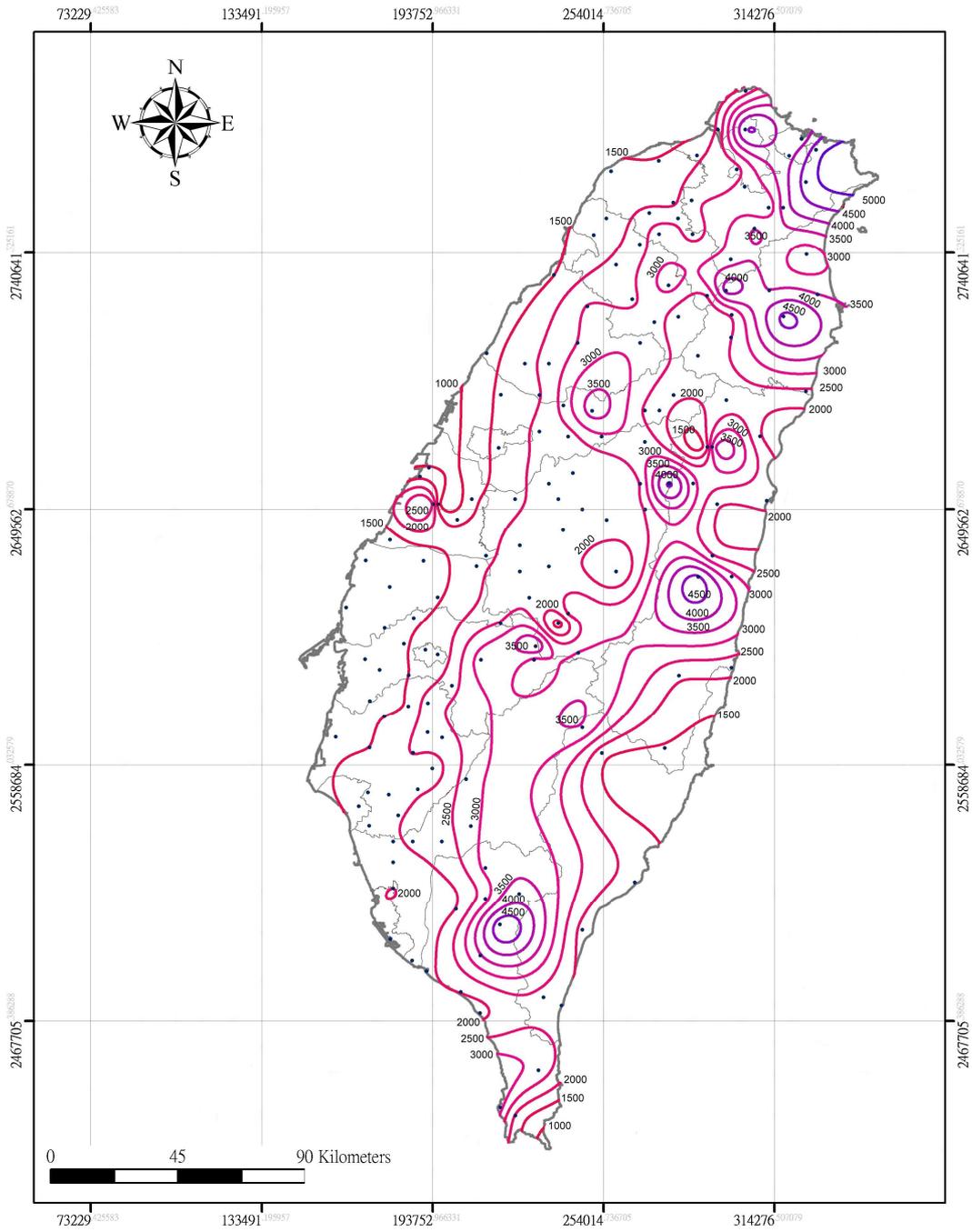


圖 10 台灣地區年等降雨量圖 (1975 年-2000 年) (單位: 公釐)

Fig.10 Average annual values of the rainfall amount for Taiwan area (1975-2000, mm)

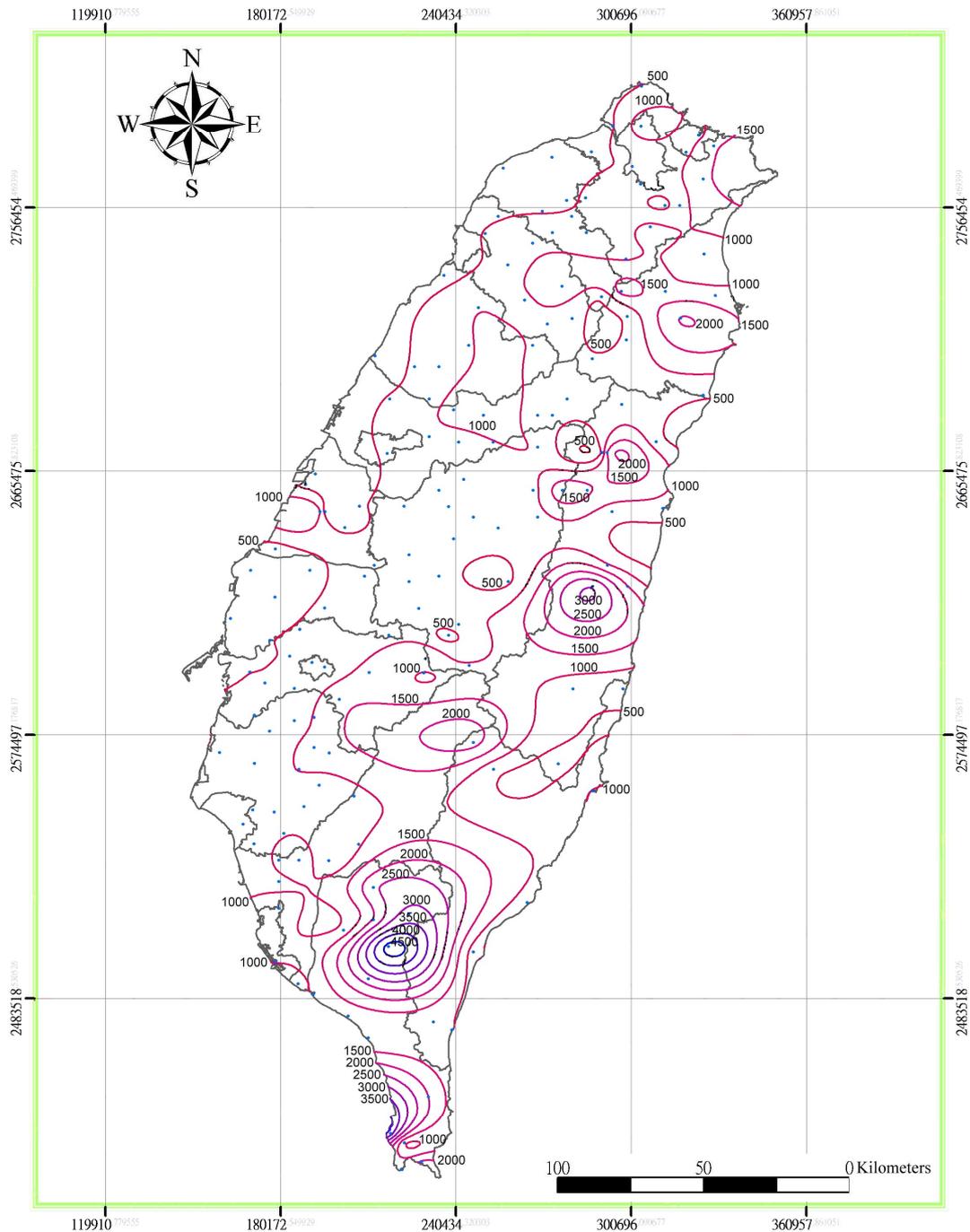


圖 11(a) 台灣地區年等降雨沖蝕指數修正圖 (1975 年-2000 年, 單位: 100 呎·噸力·吋/畝·小時·年)
Fig.11(a) Average annual values of the rainfall erosion index in Taiwan (1975-2000, unit: 100 ft·tonf/in/ac·hr·yr)

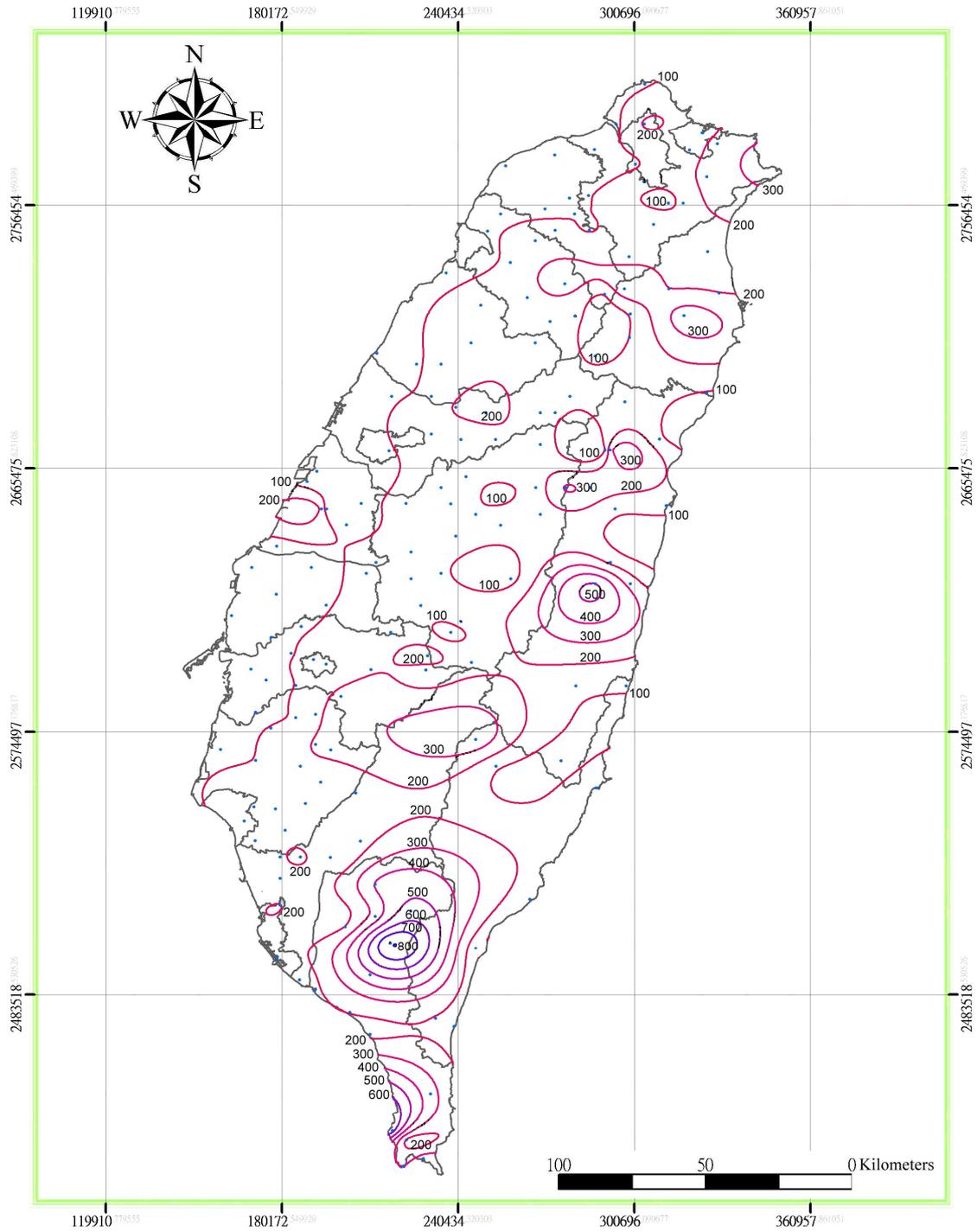


圖 11(b) 台灣地區年等降雨沖蝕指數修正圖 (1975 年-2000 年, 單位: 100 百萬焦耳·公釐/公頃·小時·年)

Fig.11(b) Average annual values of the rainfall erosion index in Taiwan (1975-2000, unit: 100MJ·mm/ha·hr·yr)

2. 西部地區之新竹、嘉義與高雄地區年平均降雨量相近，惟高雄、嘉義地區降雨多集中於降雨強度較高之颱風季節，且 I_{30} 明顯偏高，故其年降雨沖蝕指數 1013.2、779.8 遠高於新竹地區之 514.5 ($100 \text{ ft} \cdot \text{tonf} \cdot \text{in}/\text{ac} \cdot \text{hr} \cdot \text{yr}$)。
3. 受東北季風影響所致，北部及東部年平均有效降雨普遍高於西部地區。台北陽明山、基隆、宜蘭、花蓮與台東等地區，隨緯度愈高，其年平均有效降雨量愈高，且年平均降雨沖蝕指數亦愈高。
4. 本研究完成台灣地區等降雨沖蝕指數圖之修正，經與黃俊德（1979）及盧光輝（1999）等之研究比較可發現：
 - (1) 本研究等 R 值圖中之局部最大值（local maximum）發生位置，大體上與盧光輝（1999）之等 R 值圖一致，而與黃俊德（1979）之等 R 值圖差異較大。研判可能係本研究所採用之降雨資料（1975~2000），與盧光輝所採用之資料（1977~1994）較為相近，而與黃俊德所採用之資料（1956~1975）差異性較大所致。
 - (2) 整體而言，本研究所計算之 R 值（表 6）較黃俊德（1979）或盧光輝（1999）之 R 值為高。究其原因，主要係本研究之最大三十分鐘降雨強度，乃根據實測原始降雨記錄紙計算，而非間接推估所致。
4. 吳藝昀(2004)，「台灣天然雨滴粒徑分佈及年等降雨沖蝕指數圖之修訂」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
5. 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。
6. 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。
7. Gunn, R. and G. D. Kinzer (1949), "The terminal velocity of fall for water droplets," *J. Met.*, 6: 243-248.
8. Laws, J. O. and D. A. Parson (1943), "The relation of raindrop-size to intensity," *Trans. Am. Geophys. Union*, 24: 452-460.
9. Van Dijk, A. I. J. M., L. A. Bruijnzeel and C. J. Rosewell (2002), "Review Rainfall Intensity- Kinetic Energy Relationship: a Critical Literature Appraisal," *J. Hydrol.*, 261, 1-23.
10. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1958), "Rainfall Energy and Its Relationship to Soil Loss," *Trans. Am. Geophys. Union*, 39: 285-291.
11. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978), "Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning," *U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537*: 58 pp.

謝 誌

本研究係由行政院國科會及農委會提供學術補助經費，特致謝忱。

參考文獻

1. 伍婉真(1991)，「台北地區自然降雨動能及其降雨強度之關係」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
2. 吳上智（1997），「台灣中北部與美國地區雨滴粒徑分佈及沖蝕性之研究」，國立中興大學土木工程學研究所碩士論文。
3. 吳嘉俊、王阿碧(1996)，「屏東老埤地區雨滴粒徑與沖蝕動能之研究」，中華水土保持學報，27(2):

- 151-165。

2004 年 10 月 20 日 收稿

2004 年 11 月 19 日 修正

2004 年 11 月 30 日 接受

(本文開放討論至 2005 年 12 月 31 日)