台灣山坡地開發行為
土砂沖蝕估算模式之探討



國立屏東科技大學 水土保持系

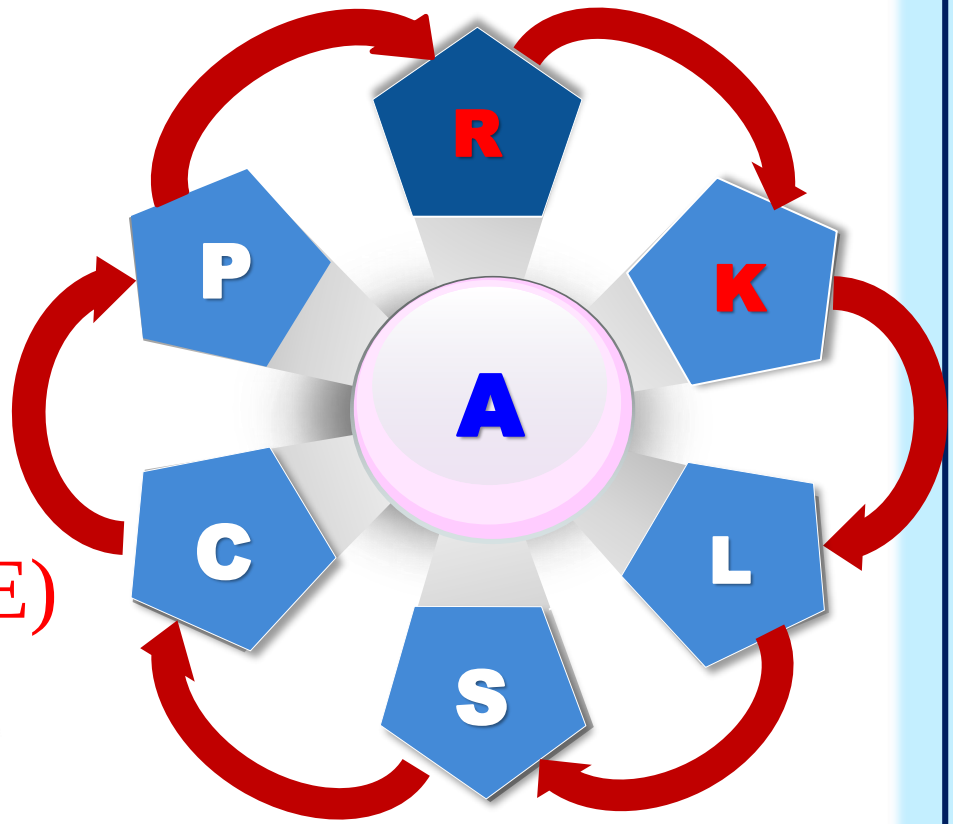
報告人：李明熹 副教授

107 年 04月24日

通用土壤流失公式

Wischmeier & Smith(1978)

收集全美超過7,500個**標準試區**及500個**集水區年資料**，經由統計分析後發展成現今世界各國所使用的通用土壤流失公式。



通用土壤流失公式(USLE)

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

天　地　人

降雨沖蝕指數



降雨沖蝕指數(Rainfall erosivity, R)

$$R=EI_{30max}$$

降雨動能採用Wischmeier and Smith依據Laws及Parson (1943)對自然降雨實測資料推導之每公頃單位降雨量之降雨動能公式：

$$e_i=\begin{cases}0.119+0.0873\ \log I_i & \text{for } I_i<76\,mm\,h^{-1}\\ 0.283 & \text{for } I_i\geq 76\,mm\,h^{-1}\end{cases}$$

式中反應出降雨強度超過76mm/h，單位降雨動能則為定值，不再隨降雨強度增加而改變。

國內降雨沖蝕指數之研究



作者	黃俊德 (1979)	盧光輝 (1999)	盧昭堯等人 (2005)	蘇志強等人 (2016)	本文研究
資料年限(年)	1957~1976	1977~1994	1975~2000	2001~2014	2002~2017
降雨資料	日、月		60分鐘		10分鐘
降雨沖蝕指數計算	Wischmeier and Smith(1958)		利用台灣實測雨滴粒徑推估降雨動能。	Wischmeier and Smith(1958)	
雨量資料來源	中央氣象局及水利署				中央氣象局
雨量站	8個氣象站200個雨量站	183個雨量站	158個雨量站	339個雨量站	350個雨量站
研究區域	全台灣				

降雨的問題



問題

1. 降雨資料採用月、日及時等間隔資料，無法準確估算I_{30max}。
2. 極端降雨事件改變雨滴動能、降雨強度、降雨延時、總降雨量等，應重修正降雨沖蝕指數。
3. 台灣降雨特性與美國不同，降雨沖蝕指數公式是否適用於台灣。

土壤沖蝕指數(Km值)



◆**Wischmeier公式 (Wischmeier et al., 1978)**

$$Km(\text{公制}) = 0.1317 \times K(\text{英制})$$

$$= 0.1317 \times \frac{2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)}{100}$$

其中：M=坋粒與極細砂(0.002~0.1mm)x(100%-黏粒%)；
a=有機質含量(%)；
b=土壤結構參數；
c=土壤滲透性參數。

土壤結構參數

結構參數值	土壤結構	粒徑大小 (mm)
1	極細顆粒	<1.0
2	細顆粒	1.0~2.0
3	中或粗顆粒	2.0~10.0
4	塊狀、片狀或粗顆粒	>10.0

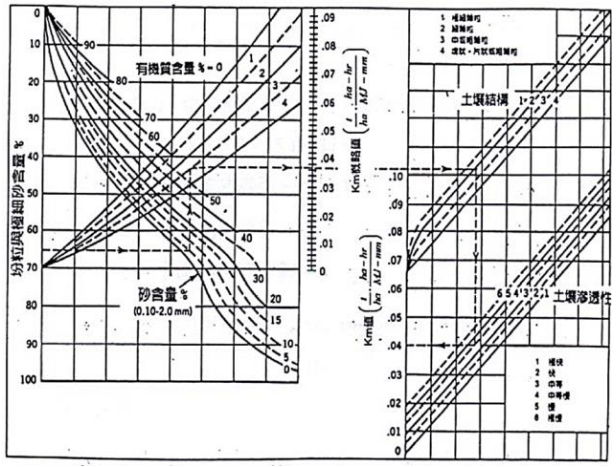
土壤滲透性參數

滲透性參數值	滲透性	粒徑大小 (mm/hr)
1	極快	>125.0
2	快	62.5~125.0
3	中等	20~62.5
4	中等慢	5.0~20.0
5	慢	1.25~5.0
6	極慢	<1.25

國內土壤沖蝕指數之研究



- 萬與黃(1981; 1983; 1989)，黃與萬(1985; 1994)和黃(1986)利用USLE模式之線性圖解法，以特定土壤性質對照該圖，推估台灣山坡地K值及土壤流失量，並設定沖蝕級別與繪製台灣地區之K值概略分布圖。



- 。

K值(英制單位)	沖蝕級別
>0.20	低沖蝕性土壤
0.20-0.40	中沖蝕性土壤
0.40	高沖蝕性土壤

國內土壤沖蝕指數之研究



- 林昭遠等人(2000)利用**地理資訊系統**結合**遙感探測技術**及**數值高程模型**，建立台灣地區西南部**泥岩地區之阿公店水庫集水區**動態之**沖蝕因子知識庫**，配合**集水自動劃分理論**、**土壤沖蝕模式**(USLE)及**遞移率**觀念，以集水區為評估單元，建立土壤沖蝕模式之專家系統，可迅速推估水庫集水區之**土壤沖蝕量**及**坡面泥沙產量**，作為泥岩地區泥砂控制及植生復育之參考依據，也運用了地理資訊系統依據，繪出**台灣地區土壤沖蝕指數分佈圖**。



國內土壤沖蝕指數之研究



- 林俐玲等人(2000) 研究指出利用土壤實測實地資料，以幾何平均粒徑方法計算其K值，並以克利金法推估未採樣點之K值，重新繪製空間分布圖更能解釋細微變異之處。
- 林俐玲等人(2000)根據土壤圖之土系分布並配合山坡地土壤調查報告書查出各土系之砂粒、坋粒、和黏粒百分比，並以幾何平均粒徑解法公式計算土壤之K值。
- 林俐玲等人(2001)以Shirazi et al. (1984)所提出之回歸公式，推估空間分佈情形。指出該公式較適用於中質地土壤，應用於粗質地土壤時將會有高估土壤沖蝕量的現象。

國內土壤沖蝕指數之研究



- 盧光輝(1997)利用萬鑫森與黃俊德(1989; 1995)建立的全台灣地區三百個樣點之K值資料(以線解法求得)，重新分析各樣點土壤質地，並求得簡易土壤質地與K值的迴歸公式，公式如下：K＝0.0666+0.023×[質地代碼] (英制)單位

質地編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
代表質地	砂土	壤砂土	黏土	坋黏土	砂壤土	黏壤土	砂黏壤土	砂黏土	壤土	坋黏壤土	坋黏土	坋土

土壤的問題



問題

1. 1981-1989年迄今，土地利用變化、開發強度改變、土壤管理方式變化及土壤退化加劇，造成土壤有機質、導水度、粒徑分布、土壤結構參數等改變。
2. 土壤沖蝕性指數應重新進行全面性調查分析。
3. 土壤沖蝕指數(Km)公式簡易化

土(地)的問題探討



基標土系(benchmark soil)資料蒐集

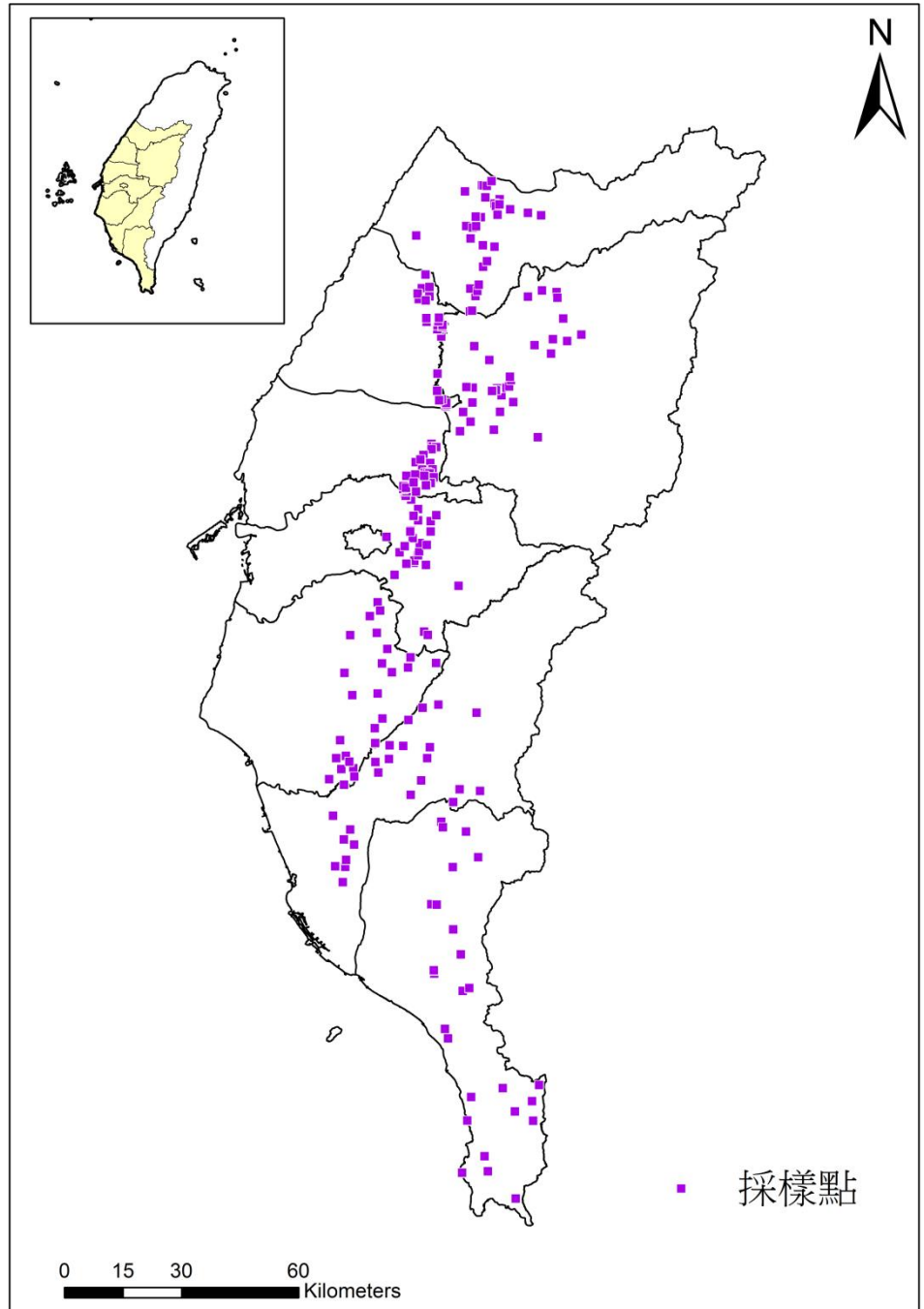


土系資料

- 依據山地農牧局於1976-1987年間建立之山坡地土壤調查報告書中之土系為依據；於各縣市山坡地中，依面積排序選取前30土系，作為本團隊調查之山坡地的基標(Benchmark)土系。
- 所選定之前30大土系面積總和皆可超過該縣市山坡地面積50%以上，絕對足以代表該縣市之山坡地土壤。
- 已完成台中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣、台南市、高雄市及屏東縣山坡地土壤調查，可計算共7(縣市)×30(土系)=210個基標土系。
- 採樣時亦分表土(0-15公分)及底土(15-30公分)，現地以張力入滲計測定導水度與打入土罐(soil core)，並攜回實驗室後測定土壤總體密度與各項土壤性質，計算Km值。

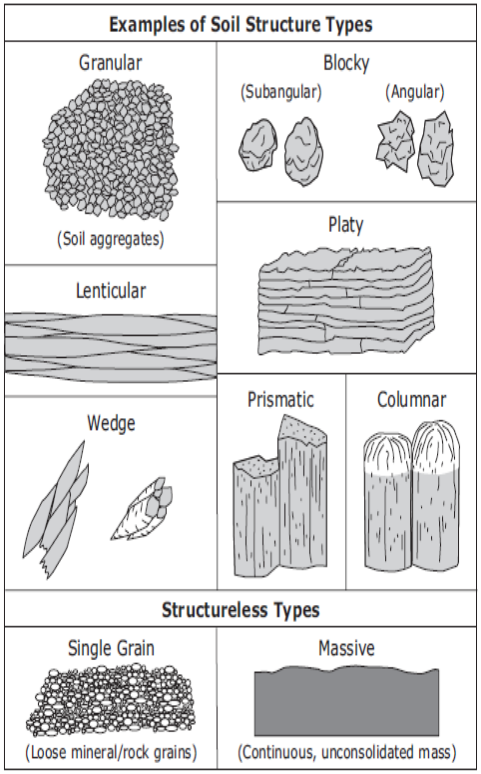
基標土系採樣點位

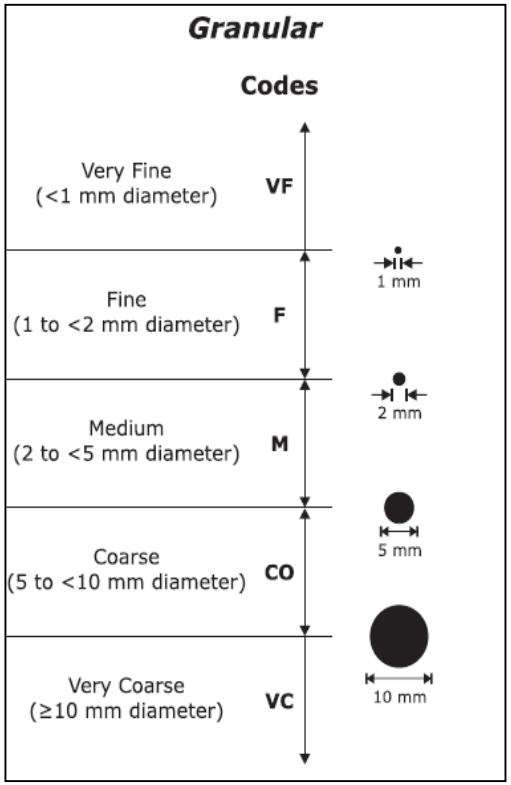
中南部210個基標土系採樣點位



土壤分析項目

◆基標土系(benchmark soil series)





◆土壤分析項目

1. 土壤質地分析
2. 土壤構造鑑定
3. 土壤團粒穩定度-濕篩法
   (Yoder, 1936)
4. 土壤水力傳導度測定
   (Campbell et al., 1986)
5. 土壤有機質含量–濕式氧化法
   (Nelson and Sommers, 1982)

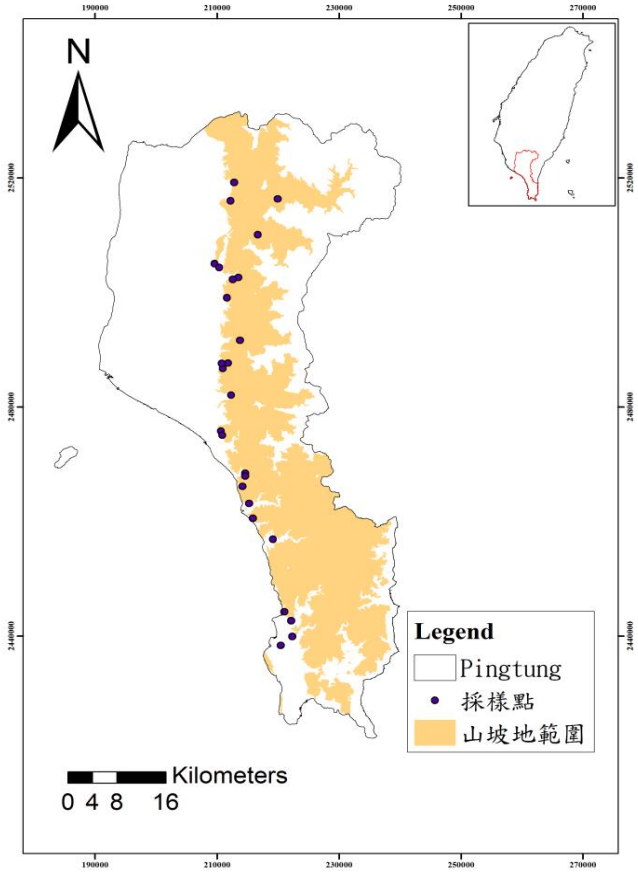
田間記錄表

田 間 調 查 表

採樣編號				
土系		調查日期	年 月 日	
經緯度		二度分帶		
海拔高度	m	天氣		
土壤沖蝕情形		色彩/色值/色度		
坡度	□B 5~15%	□D 16~55%	□F >5 5%	□無 <5%
坡向	□N____°E	□N____°W	□S____°E	□S____°W
含石量	%			
土壤類型	□Gs 砂岩淡色崩積土 □Nc 黏板岩石灰性新沖積土 □Oc 黏板岩石灰性老沖積土 □Yp 洪積母質黃壤		□M 砂頁岩、黏板岩混合沖積土 □O 黏板岩老沖積土 □Rp 洪積母質紅壤	
土地利用	□闊葉林 □竹林地 □草生地 □裸露地 □休耕地 □旱田 □風梨田 □檳榔園 □木瓜園 □芒果園 □香蕉園 □蓋田 □房舍 □畜牧場 □一般道路 □水池 □其他：_____			
土壤構造	自然化育構造	□Gr 圓粒狀 □Cpr 圓柱狀 □Abk 角塊狀	□Pl 碟狀 □Pr 稜柱狀 □Sbk 鈍角狀	□無 楔狀
	無構造	□Sg 單粒狀	□M 整塊狀	
	人為構造	□無 整塊狀		
土壤構造強度描述	圓粒類	□Vf <1 mm 極細 □Co 5~10 mm 粗	□F 1~2 mm 細 □Vc >10 mm 極粗	□M 2~5 mm 中等
	柱狀類	□Vf <10 mm 極細 □Co 50~100 mm 粗	□F 10~20mm 細 □Vc >100 mm 極粗	□M 20~50 mm 中等
	角狀類	□Vf <10 mm 極細 □Co 50~100 mm 粗	□F 10~20mm 細 □Vc >100 mm 極粗	□M 20~50 mm 中等
備註				

Km值田間調查結果：屏東縣





深藍色圓形為屏東縣調查點位

編號	表/底土	土系名稱		WGS84	WGS84	海拔	坡度	坡級	坡向	土地利用
		中文	英文	N	Y	(m)	(%)			
1	表土	老埤系	Lo	22° 38'42"	120° 36'24"	79.0	9.0	B(5~15%)	S85° W	草生地
1	底土	老埤系	Lo	22° 38'42"	120° 36'24"	79.0	9.0	B(5~15%)	S85° W	草生地
2	表土	馬兒村系	Mrt	22° 41'28"	120° 40'33"	550.0	12.0	B(5~15%)	N45° E	闊葉林
2	底土	馬兒村系	Mrt	22° 41'28"	120° 40'33"	550.0	12.0	B(5~15%)	N45° E	闊葉林
3	表土	霧台村系	Wat	22° 44'50"	120° 42'26"	340.0	16.0	D(15~55%)	S22° W	草生地
3	底土	霧台村系	Wat	22° 44'50"	120° 42'26"	340.0	16.0	D(15~55%)	S22° W	草生地
4	表土	知可且山系	Ckc	22° 46'24"	120° 38'16"	105.0	2.0	無(<5%)	N30° W	檳榔園
4	底土	知可且山系	Ckc	22° 46'24"	120° 38'16"	105.0	2.0	無(<5%)	N30° W	檳榔園
5	表土	沙漠村系	Smt	22° 44'39"	120° 37'55"	30.0	18.0	D(15~55%)	N31° E	芒果園
5	底土	沙漠村系	Smt	22° 44'39"	120° 37'55"	30.0	18.0	D(15~55%)	N31° E	芒果園
6	表土	平和村系	Pht	22° 38'21"	120° 36'51"	60.0	16.0	D(15~55%)	S35° E	草生地
6	底土	平和村系	Pht	22° 38'21"	120° 36'51"	60.0	16.0	D(15~55%)	S35° E	草生地
7	表土	牡丹池山系	Mtc	22° 37'23"	120° 38'41"	80.0	0.3	無(<5%)	N60° E	草生地
7	底土	牡丹池山系	Mtc	22° 37'23"	120° 38'41"	80.0	0.3	無(<5%)	N60° E	草生地
8	表土	佳義村系	Cit	22° 37'14"	120° 38'9"	70.0	0.2	無(<5%)	N60° W	檳榔園
8	底土	佳義村系	Cit	22° 37'14"	120° 38'9"	70.0	0.2	無(<5%)	N60° W	檳榔園
9	表土	七佳村系	Cct	22° 35'29"	120° 37'36"	50.0	0.3	無(<5%)	S86° W	鳳梨田
9	底土	七佳村系	Cct	22° 35'29"	120° 37'36"	50.0	0.3	無(<5%)	S86° W	鳳梨田
10	表土	達來村系	Dlt	22° 31'27"	120° 38'51"	110.0	4.0	無(<5%)	N10° E	草生地
10	底土	達來村系	Dlt	22° 31'27"	120° 38'51"	110.0	4.0	無(<5%)	N10° E	草生地
11	表土	新路村系	Hlu	22° 29'17"	120° 37'43"	130.0	0.1	無(<5%)	N12° E	闊葉林
11	底土	新路村系	Hlu	22° 29'17"	120° 37'43"	130.0	0.1	無(<5%)	N12° E	闊葉林
12	表土	口社系	Ksh	22° 28'46"	120° 37'14"	80.0	0.0	無(<5%)	N60° E	芒果園
12	底土	口社系	Ksh	22° 28'46"	120° 37'14"	80.0	0.0	無(<5%)	N60° E	芒果園
13	表土	春日系	Cji	22° 26'16"	120° 38'1"	80.0	0.0	無(<5%)	S15° E	芒果園
13	底土	春日系	Cji	22° 26'16"	120° 38'1"	80.0	0.0	無(<5%)	S15° E	芒果園

Km值田間調查結果：屏東縣



編號	表/底土	土系名稱		WGS84	WGS84	海拔	坡度	坡級	坡向	土地
		中文	英文	N	Y	(m)	(%)			利用
14	表土	舊公路系	Ckl	22° 17’38”	120° 39’7”	40.0	0.1	無(<5%)	N45° E	芒果園
14	底土	舊公路系	Ckl	22° 17’38”	120° 39’7”	40.0	0.1	無(<5%)	N45° E	芒果園
15	表土	內文村系	Nwt	22° 29’16”	120° 37’7”	50.0	0.2	無(<5%)	S50° W	闊葉林
15	底土	內文村系	Nwt	22° 29’16”	120° 37’7”	50.0	0.2	無(<5%)	S50° W	闊葉林
16	表土	老佛山系	Lfs	22° 22’51”	120° 37’4”	30.0	5.0	B(5~15%)	S70° W	芒果園
16	底土	老佛山系	Lfs	22° 22’51”	120° 37’4”	30.0	5.0	B(5~15%)	S70° W	芒果園
17	表土	文化村系	Wht	22° 22’28”	120° 37’11”	30.0	0.3	無(<5%)	S65° W	芒果園
17	底土	文化村系	Wht	22° 22’28”	120° 37’11”	30.0	0.3	無(<5%)	S65° W	芒果園
18	表土	高士佛山系	Kfs	22° 18’52”	120° 39’23”	60.0	12.0	B(5~15%)	N42° W	芒果園
18	底土	高士佛山系	Kfs	22° 18’52”	120° 39’23”	60.0	12.0	B(5~15%)	N42° W	芒果園
19	表土	旭海村系	Hht	22° 18’37”	120° 39’24”	60.0	12.0	B(5~15%)	N87° W	芒果園
19	底土	旭海村系	Hht	22° 18’37”	120° 39’24”	60.0	12.0	B(5~15%)	N87° W	芒果園
20	表土	港仔村系	Ktt	22° 16’01”	120° 39’45”	60.0	0.3	無(<5%)	W	芒果園
20	底土	港仔村系	Ktt	22° 16’1”	120° 39’45”	60.0	0.3	無(<5%)	W	芒果園
21	表土	石門埔系	Smp	22° 14’37”	120° 40’8”	30.0	0.2	無(<5%)	S75° W	芒果園
21	底土	石門埔系	Smp	22° 14’37”	120° 40’8”	30.0	0.2	無(<5%)	S75° W	芒果園
22	表土	楓港村系	Fct	22° 12’38”	120° 42’3”	30.0	0.0	無(<5%)	S25° E	芒果園
22	底土	楓港村系	Fct	22° 12’38”	120° 42’3”	30.0	0.0	無(<5%)	S25° E	芒果園
23	表土	滿州系	Mch	22° 5’45”	120° 43’9”	46.0	25.0	D(15~55%)	S6° W	闊葉林
23	底土	滿州系	Mch	22° 5’45”	120° 43’9”	46.0	25.0	D(15~55%)	S6° W	闊葉林
24	表土	南勢埔系	Nsp	22° 4’56”	120° 43’48”	51.0	4.0	無(<5%)	S13° W	草生地
24	底土	南勢埔系	Nsp	22° 4’56”	120° 43’48”	51.0	4.0	無(<5%)	S13° W	草生地
25	表土	仁壽里系	Jsl	22° 3’26”	120° 43’55”	19.0	0.0	無(<5%)	N2° E	草生地
25	底土	仁壽里系	Jsl	22° 3’26”	120° 43’55”	19.0	0.0	無(<5%)	N2° E	草生地
26	表土	響林村系	Hlt	22° 2’34”	120° 42’48”	35.0	5.0	B(5~15%)	N82° E	闊葉林
26	底土	響林村系	Hlt	22° 2’34”	120° 42’48”	35.0	5.0	B(5~15%)	N82° E	闊葉林

土壤質地分析:屏東縣



編號	表/底土	土系名稱 中文	土系名稱 英文	黏粒 (%)	砂粒 (%)	坋粒 (%)	極細砂 (%)	土壤質地
1	表土	老埤系	Lo	49.5	17.6	33.0	2.6	Clay
1	底土	老埤系	Lo	49.0	20.6	30.4	7.1	Clay
2	表土	馬兒村系	Mrt	21.9	56.6	21.6	8.1	Sandy Clay Loam
2	底土	馬兒村系	Mrt	10.7	54.0	35.3	8.7	Loam
3	表土	霧台村系	Wat	12.9	73.5	13.6	5.3	Loamy Sand
3	底土	霧台村系	Wat	14.4	70.2	15.4	5.0	Sandy Loam
4	表土	知可且山系	Ckc	6.8	76.6	16.6	3.2	Loamy Sand
4	底土	知可且山系	Ckc	10.0	67.1	22.9	1.9	Sandy Loam
5	表土	沙漠村系	Smt	20.5	57.4	22.2	4.4	Sandy Clay Loam
5	底土	沙漠村系	Smt	17.2	52.9	29.9	4.6	Loam
6	表土	平和村系	Pht	25.0	62.9	12.1	4.7	Sandy Clay Loam
6	底土	平和村系	Pht	17.7	65.7	16.6	4.7	Sandy Loam
7	表土	牡丹池山系	Mtc	15.5	59.6	25.0	5.3	Sandy Loam
7	底土	牡丹池山系	Mtc	5.3	64.6	30.0	3.6	Sandy Loam
8	表土	佳義村系	Cit	6.9	59.9	33.2	4.6	Sandy Loam
8	底土	佳義村系	Cit	16.1	66.6	17.4	7.3	Sandy Loam
9	表土	七佳村系	Cct	10.1	77.5	12.3	17.5	Sandy Loam
9	底土	七佳村系	Cct	2.5	86.3	11.2	19.8	Sand
10	表土	達來村系	Dlt	9.8	44.3	45.9	6.8	Loam
10	底土	達來村系	Dlt	22.9	42.2	35.0	3.9	Loam
11	表土	新路村系	Hlu	21.0	47.6	31.4	2.4	Clay
11	底土	新路村系	Hlu	28.2	46.4	25.4	2.7	Clay
12	表土	口社系	Ksh	6.5	81.6	11.9	10.6	Sandy Clay Loam
12	底土	口社系	Ksh	5.1	83.5	11.4	7.8	Loam
13	表土	春日系	Cji	6.0	63.8	30.3	4.0	Loamy Sand
13	底土	春日系	Cji	5.7	67.8	26.5	4.6	Sandy Loam
14	表土	舊公路系	Ckl	25.1	24.0	50.9	8.0	Silt Loam
14	底土	舊公路系	Ckl	13.8	23.7	62.5	4.7	Silt Loam
15	表土	內文村系	Nwt	18.7	23.9	57.4	3.8	Silt Loam
15	底土	內文村系	Nwt	22.3	25.8	51.9	3.8	Silt Loam
16	表土	老佛山系	Lfs	7.1	60.5	32.3	16.3	Sandy Loam
16	底土	老佛山系	Lfs	10.3	53.6	36.2	14.2	Sandy Loam
17	表土	文化村系	Wht	17.3	31.9	50.7	13.0	Silt Loam
17	底土	文化村系	Wht	13.8	35.8	50.4	12.1	Loam
18	表土	高士佛山系	Kfs	16.2	76.4	7.5	9.7	Loamy Sand
18	底土	高士佛山系	Kfs	14.4	54.3	31.3	6.6	Loam
19	表土	旭海村系	Hht	9.4	66.0	24.6	12.6	Sandy Loam
19	底土	旭海村系	Hht	12.9	56.3	30.9	11.5	Loam
20	表土	港仔村系	Ktt	16.5	46.0	37.5	10.3	Loam
20	底土	港仔村系	Ktt	13.0	54.9	32.1	3.6	Sandy Loam
21	表土	石門埔系	Smp	6.6	64.4	29.0	8.3	Sandy Loam
21	底土	石門埔系	Smp	13.3	45.3	41.4	11.4	Loam
22	表土	楓港村系	Fct	21.3	28.8	49.9	17.0	Loam
22	底土	楓港村系	Fct	21.5	26.1	52.4	19.8	Silt Loam
23	表土	滿州系	Mch	26.6	19.8	53.6	8.1	Silt Loam
23	底土	滿州系	Mch	21.5	32.5	46.0	6.1	Loam
24	表土	南勢埔系	Nsp	16.6	45.7	37.6	13.7	Loam
24	底土	南勢埔系	Nsp	14.8	54.4	30.8	15.9	Sandy Loam
25	表土	仁壽里系	Jsl	16.4	49.8	33.8	8.2	Loam
25	底土	仁壽里系	Jsl	13.2	60.4	26.4	7.8	Sandy Loam
26	表土	響林村系	Hlt	36.2	26.7	37.1	13.5	Clay Loam
26	底土	響林村系	Hlt	37.5	27.0	35.6	9.8	Clay Loam

土壤構造鑑定:屏東縣



編號	表/底土	土系名稱		土壤構造		大小	比例
		中文	英文	自然化育構造	無構造		
1	表土	老埤系	Lo	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	80.0
1	底土	老埤系	Lo	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	50.0
2	表土	馬兒村系	Mrt	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	45.0
2	底土	馬兒村系	Mrt	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	30.0
3	表土	霧台村系	Wat	Abk(角塊狀)	-	M(20~50 mm中等)	35.0
3	底土	霧台村系	Wat	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	30.0
4	表土	知可且山系	Ckc	Gr(圍粒狀)	-	M(2~5 mm中等)	40.0
4	底土	知可且山系	Ckc	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	30.0
5	表土	沙漠村系	Smt	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	25.0
5	底土	沙漠村系	Smt	Gr(圍粒狀)	-	M(2~5 mm中等)	40.0
6	表土	平和村系	Pht	Sbk(鈍角狀)	-	F(1~2 mm細)	60.0
6	底土	平和村系	Pht	Sbk(鈍角狀)	-	F(1~2 mm細)	60.0
7	表土	牡丹池山系	Mtc	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	55.0
7	底土	牡丹池山系	Mtc	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	40.0
8	表土	佳義村系	Cit	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	70.0
8	底土	佳義村系	Cit	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	80.0
9	表土	七佳村系	Cct	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	90.0
9	底土	七佳村系	Cct	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	90.0
10	表土	達來村系	Dlt	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	50.0
10	底土	達來村系	Dlt	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	55.0
11	表土	新路村系	Hlu	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	65.0
11	底土	新路村系	Hlu	Gr(圍粒狀)	-	M(2~5 mm中等)	65.0
12	表土	口社系	Ksh	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	65.0
12	底土	口社系	Ksh	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	70.0
13	表土	春日系	Cji	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	90.0
13	底土	春日系	Cji	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	80.0

編號	表/底土	土系名稱		土壤構造		大小	比例
		中文	英文	自然化育構造	無構造		
14	表土	舊公路系	Ckl	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	45.0
14	底土	舊公路系	Ckl	Gr(圍粒狀)	-	F(1~2 mm細)	55.0
15	表土	內文村系	Nwt	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	40.0
15	底土	內文村系	Nwt	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	45.0
16	表土	老佛山系	Lfs	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	30.0
16	底土	老佛山系	Lfs	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	35.0
17	表土	文化村系	Wht	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	40.0
17	底土	文化村系	Wht	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	30.0
18	表土	高士佛山系	Kfs	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	55.0
18	底土	高士佛山系	Kfs	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	30.0
19	表土	旭海村系	Hht	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	45.0
19	底土	旭海村系	Hht	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	45.0
20	表土	港仔村系	Ktt	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	40.0
20	底土	港仔村系	Ktt	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	45.0
21	表土	石門埔系	Smp	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	80.0
21	底土	石門埔系	Smp	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	40.0
22	表土	楓港村系	Fct	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	40.0
22	底土	楓港村系	Fct	Abk(角塊狀)	-	M(20~50 mm中等)	45.0
23	表土	滿州系	Mch	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	50.0
23	底土	滿州系	Mch	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	50.0
24	表土	南勢埔系	Nsp	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<1 mm極細)	50.0
24	底土	南勢埔系	Nsp	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	40.0
25	表土	仁壽里系	Jsl	Gr(圍粒狀)	-	Vf(<10 mm極細)	40.0
25	底土	仁壽里系	Jsl	Abk(角塊狀)	-	F(10~20mm細)	40.0
26	表土	響林村系	Hlt	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	60.0
26	底土	響林村系	Hlt	Abk(角塊狀)	-	Vf(<10 mm極細)	50.0

土壤團粒穩定度:屏東縣



編號	表/底土	土系名稱 中文	土系名稱 英文	土土壤團粒之平均重量粒徑MWD (mm)
1	表土	老埤系	Lo	0.769 ± 0.036
1	底土	老埤系	Lo	0.769 ± 0.004
2	表土	馬兒村系	Mrt	1.492 ± 0.048
2	底土	馬兒村系	Mrt	0.702 ± 0.002
3	表土	霧台村系	Wat	1.909 ± 0.015
3	底土	霧台村系	Wat	1.844 ± 0.012
4	表土	知可且山系	Ckc	1.542 ± 0.078
4	底土	知可且山系	Ckc	1.568 ± 0.090
5	表土	沙漠村系	Smt	1.500 ± 0.074
5	底土	沙漠村系	Smt	1.391 ± 0.046
6	表土	平和村系	Pht	1.442 ± 0.058
6	底土	平和村系	Pht	1.910 ± 0.041
7	表土	牡丹池山系	Mtc	0.758 ± 0.057
7	底土	牡丹池山系	Mtc	1.784 ± 0.058
8	表土	佳義村系	Cit	1.438 ± 0.001
8	底土	佳義村系	Cit	1.433 ± 0.011
9	表土	七佳村系	Cct	0.651 ± 0.011
9	底土	七佳村系	Cct	0.585 ± 0.010
10	表土	達來村系	Dlt	1.816 ± 0.078
10	底土	達來村系	Dlt	1.906 ± 0.075
11	表土	新路村系	Hlu	1.728 ± 0.073
11	底土	新路村系	Hlu	1.419 ± 0.070
12	表土	口社系	Ksh	2.249 ± 0.026
12	底土	口社系	Ksh	1.934 ± 0.043
13	表土	春日系	Cji	1.076 ± 0.064
13	底土	春日系	Cji	1.362 ± 0.052

編號	表/底土	土系名稱 中文	土系名稱 英文	土土壤團粒之平均重量粒徑MWD (mm)
14	表土	舊公路系	Ckl	0.596 ± 0.038
14	底土	舊公路系	Ckl	0.556 ± 0.039
15	表土	內文村系	Nwt	0.749 ± 0.005
15	底土	內文村系	Nwt	0.511 ± 0.034
16	表土	老佛山系	Lfs	0.742 ± 0.065
16	底土	老佛山系	Lfs	0.697 ± 0.052
17	表土	文化村系	Wht	0.531 ± 0.076
17	底土	文化村系	Wht	0.566 ± 0.014
18	表土	高士佛山系	Kfs	0.566 ± 0.014
18	底土	高士佛山系	Kfs	1.393 ± 0.045
19	表土	旭海村系	Hht	1.221 ± 0.026
19	底土	旭海村系	Hht	1.378 ± 0.047
20	表土	港仔村系	Ktt	1.009 ± 0.061
20	底土	港仔村系	Ktt	1.446 ± 0.039
21	表土	石門埔系	Smp	1.884 ± 0.032
21	底土	石門埔系	Smp	0.797 ± 0.020
22	表土	楓港村系	Fct	0.192 ± 0.045
22	底土	楓港村系	Fct	0.154 ± 0.010
23	表土	滿州系	Mch	1.424 ± 0.001
23	底土	滿州系	Mch	0.971 ± 0.097
24	表土	南勢埔系	Nsp	1.224 ± 0.050
24	底土	南勢埔系	Nsp	0.991 ± 0.046
25	表土	仁壽里系	Jsl	0.983 ± 0.061
25	底土	仁壽里系	Jsl	0.960 ± 0.069
26	表土	響林村系	Hlt	1.340 ± 0.054
26	底土	響林村系	Hlt	1.301 ± 0.065

土壤水力傳導度測定:屏東縣



編號	表/底土	土系名稱		土壤導水度等級
		中文	英文	
1	表土	老埤系	Lo	慢
1	底土	老埤系	Lo	頗慢
2	表土	馬兒村系	Mrt	極快
2	底土	馬兒村系	Mrt	極快
3	表土	霧台村系	Wat	極快
3	底土	霧台村系	Wat	極快
4	表土	知可且山系	Ckc	極快
4	底土	知可且山系	Ckc	極快
5	表土	沙漠村系	Smt	極快
5	底土	沙漠村系	Smt	極快
6	表土	平和村系	Pht	極快
6	底土	平和村系	Pht	極快
7	表土	牡丹池山系	Mtc	極快
7	底土	牡丹池山系	Mtc	極快
8	表土	佳義村系	Cit	極快
8	底土	佳義村系	Cit	極快
9	表土	七佳村系	Cct	極快
9	底土	七佳村系	Cct	極快
10	表土	達來村系	Dlt	快
10	底土	達來村系	Dlt	快
11	表土	新路村系	Hlu	快
11	底土	新路村系	Hlu	快
12	表土	口社系	Ksh	極快
12	底土	口社系	Ksh	極快
13	表土	春日系	Cji	極快
13	底土	春日系	Cji	極快

編號	表/底土	土系名稱		土壤導水度等級
		中文	英文	
14	表土	舊公路系	Ckl	頗慢
14	底土	舊公路系	Ckl	頗慢
15	表土	內文村系	Nwt	頗慢
15	底土	內文村系	Nwt	頗慢
16	表土	老佛山系	Lfs	極快
16	底土	老佛山系	Lfs	極快
17	表土	文化村系	Wht	中等
17	底土	文化村系	Wht	中等
18	表土	高士佛山系	Kfs	極快
18	底土	高士佛山系	Kfs	極快
19	表土	旭海村系	Hht	極快
19	底土	旭海村系	Hht	極快
20	表土	港仔村系	Ktt	極快
20	底土	港仔村系	Ktt	極快
21	表土	石門埔系	Smp	極快
21	底土	石門埔系	Smp	極快
22	表土	楓港村系	Fct	頗慢
22	底土	楓港村系	Fct	頗慢
23	表土	滿州系	Mch	頗慢
23	底土	滿州系	Mch	頗慢
24	表土	南勢埔系	Nsp	極快
24	底土	南勢埔系	Nsp	極快
25	表土	仁壽里系	Jsl	極快
25	底土	仁壽里系	Jsl	極快
26	表土	響林村系	Hlt	頗慢
26	底土	響林村系	Hlt	頗慢

土壤有機質含量:屏東縣



編號	表/底土	土系名稱 中文	土系名稱 英文	有機質含量OM (%)	腐植質含量等級
1	表土	老埤系	Lo	1.736	低腐植質
1	底土	老埤系	Lo	1.574	低腐植質
2	表土	馬兒村系	Mrt	3.259	中腐植質
2	底土	馬兒村系	Mrt	3.050	中腐植質
3	表土	霧台村系	Wat	4.450	高腐植質
3	底土	霧台村系	Wat	3.389	中腐植質
4	表土	知可且山系	Ckc	0.840	極低腐植質
4	底土	知可且山系	Ckc	0.627	極低腐植質
5	表土	沙漠村系	Smt	3.149	中腐植質
5	底土	沙漠村系	Smt	2.216	中腐植質
6	表土	平和村系	Pht	3.198	中腐植質
6	底土	平和村系	Pht	3.082	中腐植質
7	表土	牡丹池山系	Mtc	1.948	低腐植質
7	底土	牡丹池山系	Mtc	1.632	低腐植質
8	表土	佳義村系	Cit	0.689	極低腐植質
8	底土	佳義村系	Cit	0.583	極低腐植質
9	表土	七佳村系	Cct	1.107	低腐植質
9	底土	七佳村系	Cct	0.689	極低腐植質
10	表土	達來村系	Dlt	4.765	高腐植質
10	底土	達來村系	Dlt	2.203	中腐植質
11	表土	新路村系	Hlu	2.319	中腐植質
11	底土	新路村系	Hlu	1.988	低腐植質
12	表土	口社系	Ksh	1.601	低腐植質
12	底土	口社系	Ksh	1.658	低腐植質
13	表土	春日系	Cji	2.185	中腐植質
13	底土	春日系	Cji	1.284	低腐植質

編號	表/底土	土系名稱 中文	土系名稱 英文	有機質含量OM (%)	腐植質含量等級
14	表土	舊公路系	Ckl	3.031	中腐植質
14	底土	舊公路系	Ckl	2.112	中腐植質
15	表土	內文村系	Nwt	2.158	中腐植質
15	底土	內文村系	Nwt	1.972	低腐植質
16	表土	老佛山系	Lfs	1.252	低腐植質
16	底土	老佛山系	Lfs	1.150	低腐植質
17	表土	文化村系	Wht	2.466	中腐植質
17	底土	文化村系	Wht	1.176	低腐植質
18	表土	高士佛山系	Kfs	2.535	中腐植質
18	底土	高士佛山系	Kfs	0.876	極低腐植質
19	表土	旭海村系	Hht	1.671	低腐植質
19	底土	旭海村系	Hht	1.269	低腐植質
20	表土	港仔村系	Ktt	2.107	中腐植質
20	底土	港仔村系	Ktt	1.041	低腐植質
21	表土	石門埔系	Smp	1.081	低腐植質
21	底土	石門埔系	Smp	1.431	低腐植質
22	表土	楓港村系	Fct	2.018	中腐植質
22	底土	楓港村系	Fct	1.494	低腐植質
23	表土	滿州系	Mch	2.527	中腐植質
23	底土	滿州系	Mch	1.154	低腐植質
24	表土	南勢埔系	Nsp	3.638	中腐植質
24	底土	南勢埔系	Nsp	1.373	低腐植質
25	表土	仁壽里系	Jsl	2.693	中腐植質
25	底土	仁壽里系	Jsl	1.635	低腐植質
26	表土	響林村系	Hlt	2.936	中腐植質
26	底土	響林村系	Hlt	1.931	低腐植質

土壤總體密度:屏東縣



編號	表/底土	土系名稱		總體密度 (g/cm^3)
		中文	英文	
1	表土	老埤系	Lo	1.29 ± 0.09
1	底土	老埤系	Lo	1.26 ± 0.06
2	表土	馬兒村系	Mrt	1.23 ± 0.13
2	底土	馬兒村系	Mrt	1.27 ± 0.05
3	表土	霧台村系	Wat	1.10 ± 0.01
3	底土	霧台村系	Wat	1.12 ± 0.08
4	表土	知可且山系	Ckc	1.42 ± 0.02
4	底土	知可且山系	Ckc	1.59 ± 0.06
5	表土	沙漠村系	Smt	1.19 ± 0.05
5	底土	沙漠村系	Smt	1.10 ± 0.07
6	表土	平和村系	Pht	1.45 ± 0.01
6	底土	平和村系	Pht	1.44 ± 0.01
7	表土	牡丹池山系	Mtc	1.42 ± 0.01
7	底土	牡丹池山系	Mtc	1.44 ± 0.02
8	表土	佳義村系	Cit	1.43 ± 0.0.2
8	底土	佳義村系	Cit	1.45 ± 0.03
9	表土	七佳村系	Cct	1.53 ± 0.02
9	底土	七佳村系	Cct	1.54 ± 0.03
10	表土	達來村系	Dlt	1.35 ± 0.07
10	底土	達來村系	Dlt	1.36 ± 0.03
11	表土	新路村系	Hlu	1.36 ± 0.06
11	底土	新路村系	Hlu	1.37 ± 0.03
12	表土	口社系	Ksh	1.50 ± 0.03
12	底土	口社系	Ksh	1.51 ± 0.01
13	表土	春日系	Cji	1.44 ± 0.01
13	底土	春日系	Cji	1.45 ± 0.01

編號	表/底土	土系名稱		總體密度 (g/cm^3)
		中文	英文	
14	表土	舊公路系	Ckl	1.28 ± 0.02
14	底土	舊公路系	Ckl	1.27 ± 0.00
15	表土	內文村系	Nwt	1.38 ± 0.00
15	底土	內文村系	Nwt	1.37 ± 0.11
16	表土	老佛山系	Lfs	1.53 ± 0.09
16	底土	老佛山系	Lfs	1.43 ± 0.06
17	表土	文化村系	Wht	1.36 ± 0.01
17	底土	文化村系	Wht	1.43 ± 0.01
18	表土	高士佛山系	Kfs	1.39 ± 0.05
18	底土	高士佛山系	Kfs	1.52 ± 0.05
19	表土	旭海村系	Hht	1.3 ± 0.05
19	底土	旭海村系	Hht	1.47 ± 0.02
20	表土	港仔村系	Ktt	1.42 ± 0.26
20	底土	港仔村系	Ktt	1.73 ± 0.23
21	表土	石門埔系	Smp	1.54 ± 0.11
21	底土	石門埔系	Smp	1.55 ± 0.12
22	表土	楓港村系	Fct	1.43 ± 0.01
22	底土	楓港村系	Fct	1.61 ± 0.26
23	表土	滿州系	Mch	1.08 ± 0.01
23	底土	滿州系	Mch	1.53 ± 0.07
24	表土	南勢埔系	Nsp	1.15 ± 0.18
24	底土	南勢埔系	Nsp	1.52 ± 0.06
25	表土	仁壽里系	Jsl	1.4 ± 0.01
25	底土	仁壽里系	Jsl	1.36 ± 0.03
26	表土	響林村系	Hlt	1.15 ± 0.1
26	底土	響林村系	Hlt	1.29 ± 0.1

土壤含石量:屏東縣

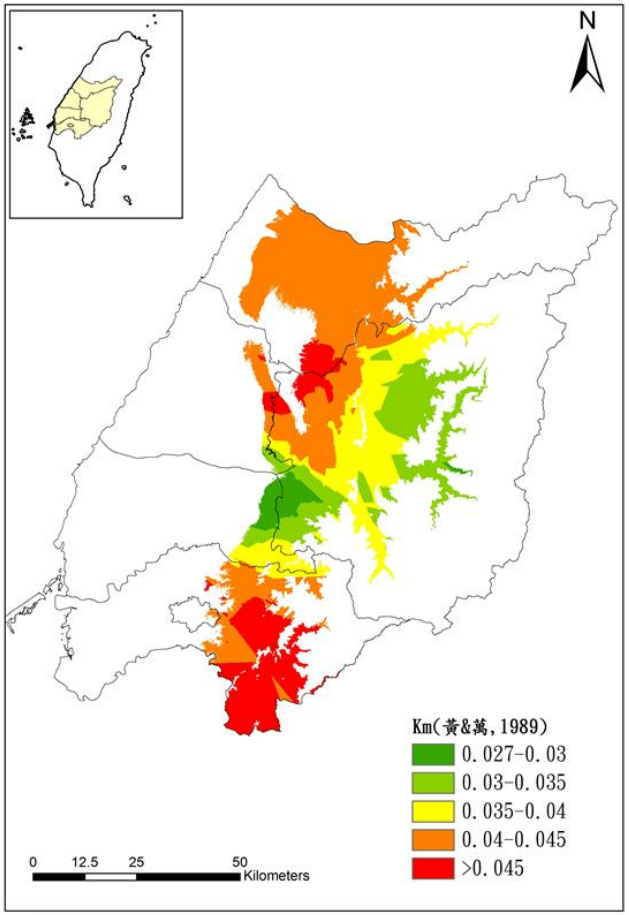


編號	表/底土	土系名稱		含石量 (%)
		中文	英文	
1	表土	老埤系	Lo	<2
1	底土	老埤系	Lo	<2
2	表土	馬兒村系	Mrt	35
2	底土	馬兒村系	Mrt	50
3	表土	霧台村系	Wat	67
3	底土	霧台村系	Wat	56
4	表土	知可且山系	Ckc	68
4	底土	知可且山系	Ckc	<2
5	表土	沙漠村系	Smt	69
5	底土	沙漠村系	Smt	59
6	表土	平和村系	Pht	49
6	底土	平和村系	Pht	56
7	表土	牡丹池山系	Mtc	51
7	底土	牡丹池山系	Mtc	57
8	表土	佳義村系	Cit	32
8	底土	佳義村系	Cit	36
9	表土	七佳村系	Cct	23
9	底土	七佳村系	Cct	65
10	表土	達來村系	Dlt	49
10	底土	達來村系	Dlt	67
11	表土	新路村系	Hlu	25
11	底土	新路村系	Hlu	48
12	表土	口社系	Ksh	65
12	底土	口社系	Ksh	68
13	表土	春日系	Cji	65
13	底土	春日系	Cji	67

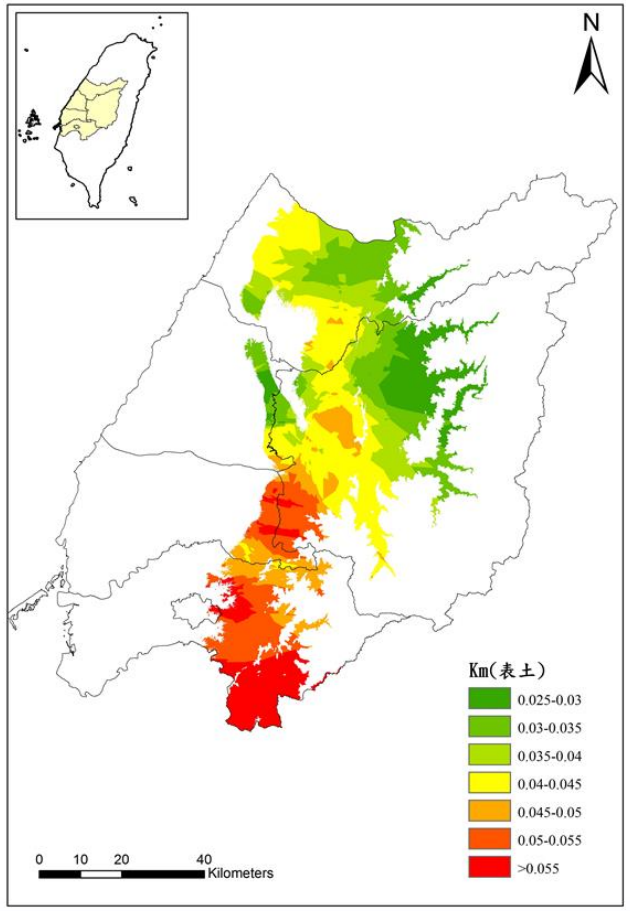
編號	表/底土	土系名稱		含石量 (%)
		中文	英文	
14	表土	舊公路系	Ckl	5
14	底土	舊公路系	Ckl	9
15	表土	內文村系	Nwt	<2
15	底土	內文村系	Nwt	6
16	表土	老佛山系	Lfs	52
16	底土	老佛山系	Lfs	35
17	表土	文化村系	Wht	28
17	底土	文化村系	Wht	13
18	表土	高士佛山系	Kfs	49
18	底土	高士佛山系	Kfs	90
19	表土	旭海村系	Hht	83
19	底土	旭海村系	Hht	61
20	表土	港仔村系	Ktt	37
20	底土	港仔村系	Ktt	63
21	表土	石門埔系	Smp	68
21	底土	石門埔系	Smp	55
22	表土	楓港村系	Fct	5
22	底土	楓港村系	Fct	5
23	表土	滿州系	Mch	24
23	底土	滿州系	Mch	45
24	表土	南勢埔系	Nsp	28
24	底土	南勢埔系	Nsp	25
25	表土	仁壽里系	Jsl	39
25	底土	仁壽里系	Jsl	47
26	表土	響林村系	Hlt	<2
26	底土	響林村系	Hlt	<2

K值空間分布圖

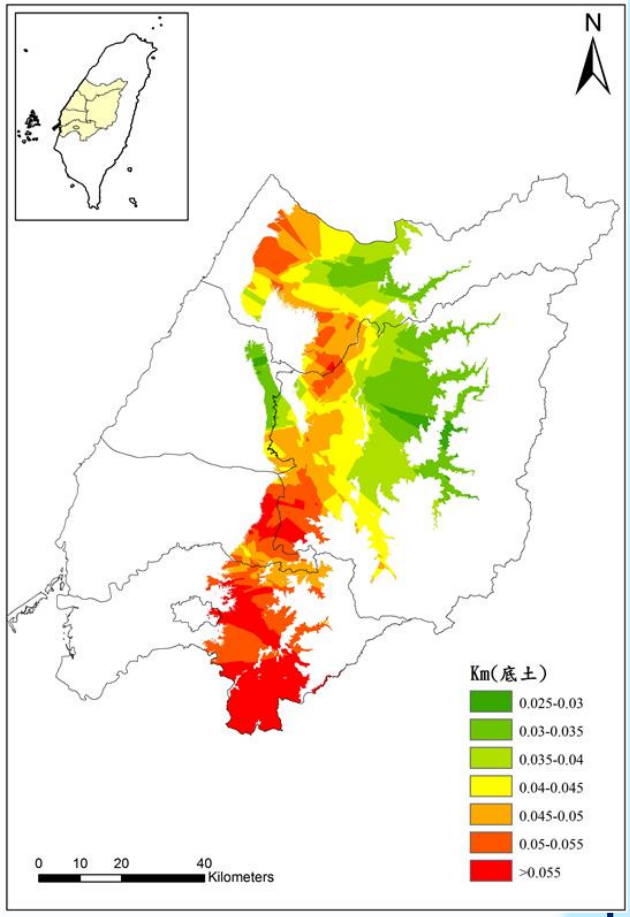
萬鑫森與黃俊義(1989年)



本計畫表土 (2017年)



本計畫底土(2017年)



以克利金法進行空間變化分析 (網格大小：20m x 20m)

精進改善措施



➢ 土壤沖蝕指數(Km)公式簡易化

- 土壤沖蝕性指數(Km)之計算方式是依據Wischmeier et al.(1978)所提出之經驗公式，但計算過程所需因子數據取得十分繁雜不易。因此本團隊嘗試以現地容易取得之土壤性質做為因子與探討土壤沖蝕性指數並提出預測公式。

土壤沖蝕指數(Km)公式簡易化



Km (Wischmeier and Smith, 1978) ：

$$0.1317 \times \frac{2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-a)+3.25(b-2)+2.5(c-3)}{100}$$

其中: M=坋粒與極細砂含量 × (100% - 黏粒含量%)；

a=有機質含量百分比(%) ；

b=土壤結構參數；

c=土壤滲透性參數。

簡易化

Km (簡易化) ：

$$f(Km) = (T, OM)$$

其中: T =土壤質地(用手摸)

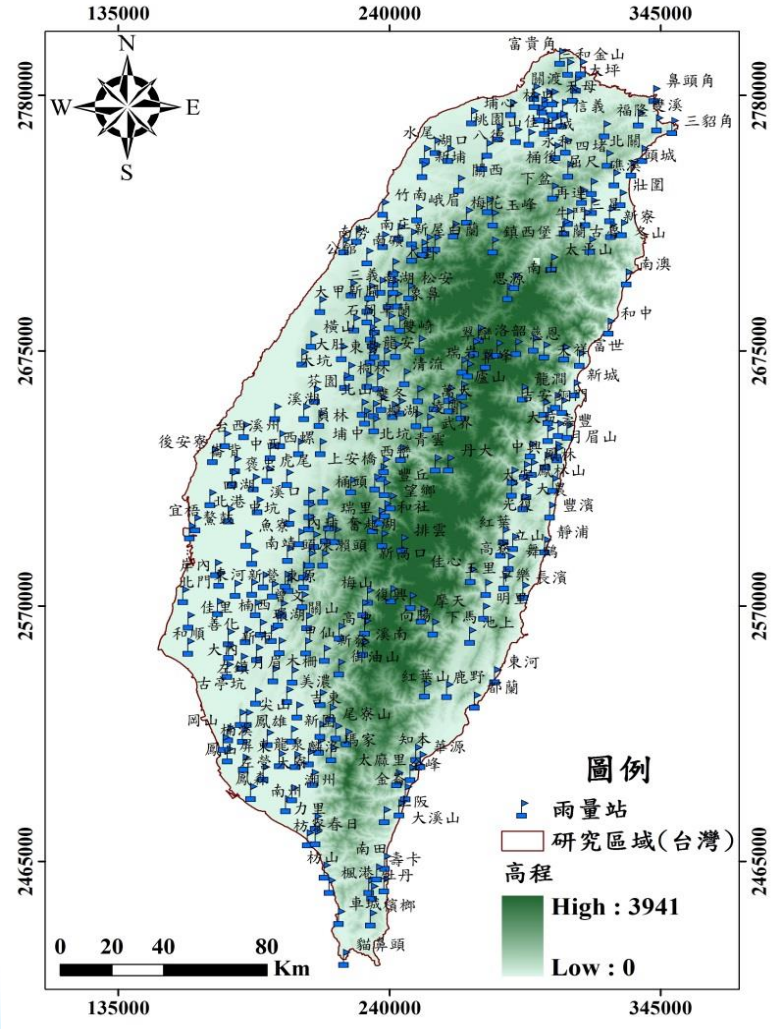
OM=有機質含量百分比(%) (色帖)

水(天)的問題探討



中央氣象局雨量站分布





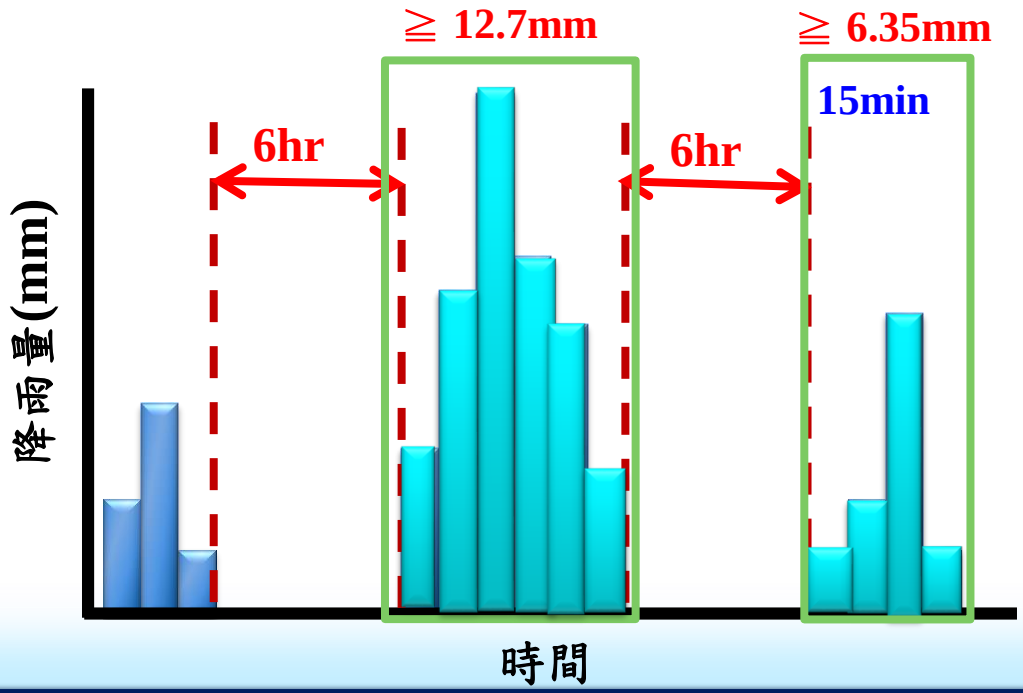
研究區域	台灣
雨量站數	350 站(已完成212站)
區域面積	36,193 km^2
資料年限	2002~2017年 (16年)
資料來源	中央氣象局 (10分鐘雨量資料)

研究方法

- 有效雨場判定　Wischmeier & Smith (1978)

(1)單場降雨之累積降雨量須超過12.7mm，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12.7mm，但於15分鐘內降下6.35mm以上之雨量，仍具備有沖蝕之潛在能力 。



研究方法



❖ 降雨沖蝕指數之計算

Wischmeier and Smith(1943)

$$e_i = \begin{cases} 0.119 + 0.0873 \log I & \text{for } I < 76 \text{ mm/hr} \\ 0.283 & \text{for } I \geq 76 \text{ mm/hr} \end{cases}$$

其中，e_i為每公頃單位降雨量之降雨動能；I為降雨強度。

$$R_j = E \times I_{30(max)}$$

其中，R_j=單場降雨之降雨沖蝕指數；E=單場降雨之降雨總動能；
$I_{30(max)}$=單場降雨之最大30分鐘降雨強度。

降雨特性分析成果

已完成212個雨量站分析
約有10萬場有效降雨事件



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)	年最大降雨沖蝕指數 (b)	年平均降雨沖蝕指數 (b)
魚寮	305	674	93	160	16,305	47,140	15,970
新高口	584	2,114	118	524	42,409	49,115	25,990
溪口	282	544	81	128	10,036	25,760	11,028
瑞里	551	1,940	126	478	58,315	66,310	31,318
奮起湖	644	2,876	129	744	89,310	94,717	46,837
頭凍	711	2,081	122	521	48,953	93,111	48,184
豐山	489	1,916	117	473	67,221	72,558	38,529
瀨頭	565	1,096	121	271	22,772	67,226	37,132
鰲鼓	269	711	80	177	21,052	35,153	14,457
Max	711	2,876	1,693	744	89,310	106,837	52,806
Min	198	392	55	95	5,292	10,976	5,148
Mean	462	997	270	247	31,441	47,544	22,797
SD	123	510	378	133	19,986	20,976	9,191

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

降雨沖蝕指數與降雨量關係式



各雨量站之月、季、乾濕季、年之降雨沖蝕指數與降雨量回歸式

◆ 臺灣中南部地區116個雨量站月、季、年之平均降雨量(P_m)與月、季、年之平均降雨沖蝕指數(R_m)之迴歸關係式

月份	迴歸關係式	判定係數(R^2)
1月	$R_m=0.57P_m^{1.21}$	0.79^{**}
2月	$R_m=0.51\ P_m^{1.36}$	0.77^{**}
3月	$R_m=0.86P_m^{1.27}$	0.78^{**}
4月	$R_m=1.75P_m^{1.22}$	0.72^{**}
5月	$R_m=1.56P_m^{1.29}$	0.82^{**}
6月	$R_m=2.14P_m^{1.25}$	0.88^{**}
7月	$R_m=1.11P_m^{1.39}$	0.87^{**}
8月	$R_m=1.95P_m^{1.28}$	0.89^{**}
9月	$R_m=1.89P_m^{1.28}$	0.85^{**}
10月	$R_m=0.46P_m^{1.55}$	0.83^{**}
11月	$R_m=0.19P_m^{1.58}$	0.84^{**}
12月	$R_m=0.59P_m^{1.32}$	0.69^{**}

季節	迴歸關係式	判定係數 (R^2)
春季	$R_S=1.30P_S^{1.22}$	0.77^{**}
夏季	$R_S=1.05P_S^{1.34}$	0.78^{**}
秋季	$R_S=1.82P_S^{1.27}$	0.86^{**}
冬季	$R_S=0.53P_S^{1.31}$	0.79^{**}

乾溼季	迴歸關係式	判定係數 (R^2)
乾季	$R_{SD}=1.34P_{SD}^{1.06}$	0.92^{**}
濕季	$R_{SW}=2.30P_{SW}^{1.22}$	0.92^{**}

年份	迴歸關係式	判定係數 (R^2)
total	$R_y=1.22P_y^{1.28}$	0.82^{**}

註：**表示顯著水準$\alpha<0.01$

年平均降雨沖蝕指數之重現期距分析

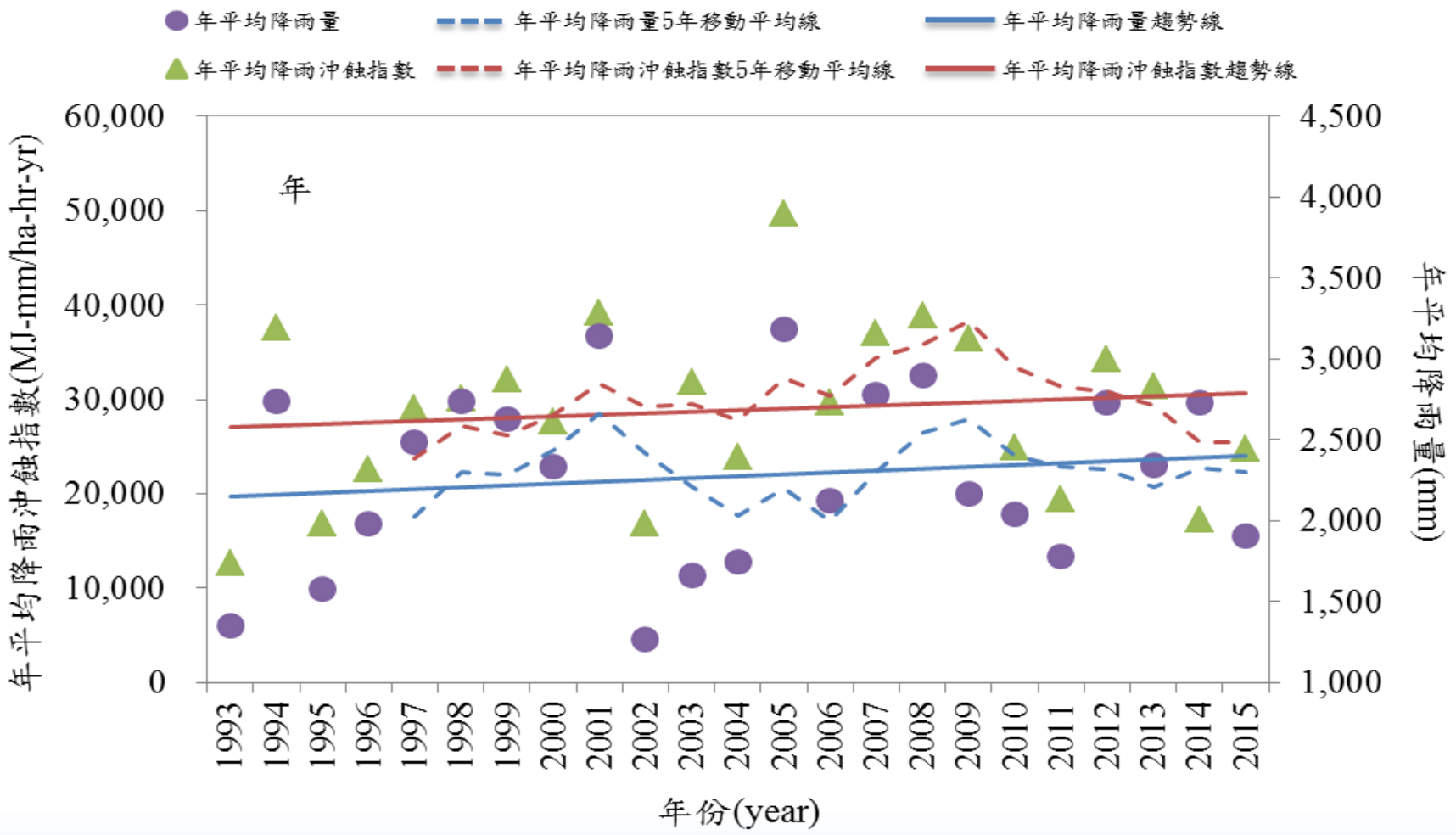


縣市	雨量站	不同重現期距之年降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-yr)						統計分析方法
		2年	5年	10年	25年	50年	100年	
高雄市	大津	40574	54052	59846	65156	68142	72532	皮爾遜III
	大寮	26291	31993	34101	35788	36610	37192	皮爾遜III
	小關山	37430	59543	74183	92681	106404	120025	極端值I
	月眉	33055	40276	44231	48533	51340	53871	對數皮爾遜III
	木柵	32050	41763	46470	51213	54129	56656	皮爾遜III
	古亭坑	21698	32407	39498	48456	55102	61699	極端值I
	左營	22186	28130	31241	34556	36698	38623	常態分佈
	甲仙	37906	61725	77495	97420	112202	126875	極端值I
	吉東	32280	39730	43833	48311	51239	53884	對數皮爾遜III
	尖山	22055	37327	47438	60213	69691	79098	極端值I
	竹子腳	25657	40657	50588	63136	72445	81685	極端值I
	岡山	21292	35095	44234	55781	64348	72851	極端值I
	美濃	31581	47591	58191	71584	81519	91382	極端值I
	高中	37054	59717	74722	93681	107746	121707	極端值I
	御油山	68282	104968	129257	159947	182714	205313	極端值I
	排雲	16081	25313	31425	39148	44878	50565	極端值I
	梅山	27915	51227	66662	86163	100631	114991	極端值I
	復興	28199	53546	70328	91532	107262	122877	極端值I
	新發	51686	71723	83543	96976	106019	114341	對數皮爾遜III
	溪南	50912	85583	105213	132543	152818	172944	極端值I

縣市	雨量站	不同重現期距之年降雨沖蝕指數 (MJ-mm/ha-hr-yr)						統計分析方法
		2年	5年	10年	25年	50年	100年	
屏東縣	力里	28202	44933	56011	70008	80391	90698	極端值I
	三地門	40003	61764	76172	94376	107881	121286	極端值I
	三爺	20204	34935	44687	57010	66151	75225	極端值I
	上德文	56753	79233	91349	103979	111777	118446	對數皮爾遜III
	古夏	40179	61421	75485	93255	106438	119523	極端值I
	石門山	17158	27442	34251	42854	49236	55571	極端值I
	旭海	20081	34889	47560	67259	84898	105333	對數皮爾遜III
	尾寮山	63306	97471	120091	148672	169875	190920	極端值I
	牡丹	24516	36383	44239	54166	61530	68840	極端值I
	牡丹池山	26221	45622	63711	94252	123871	160631	對數皮爾遜III
	赤山	39448	62908	82875	114019	142123	174987	對數皮爾遜III
	車城	21790	42752	56631	74167	87176	100089	極端值I
	枋山	16482	25399	31847	40534	47366	54489	對數常態II
	枋寮	15973	25323	31514	39335	45138	50898	極端值I
	阿禮	36393	51093	59341	68570	74774	80519	皮爾遜III
	南州	19912	27427	31858	36898	40296	43429	對數皮爾遜III
	屏東	29644	46961	58427	72914	83662	94330	極端值I
	楓港	17646	26300	32029	39268	44639	49970	極端值I
	壽卡	18233	27419	33945	42620	49367	56343	對數常態II
	檳榔	17971	29894	39014	51821	62247	73404	對數常態II

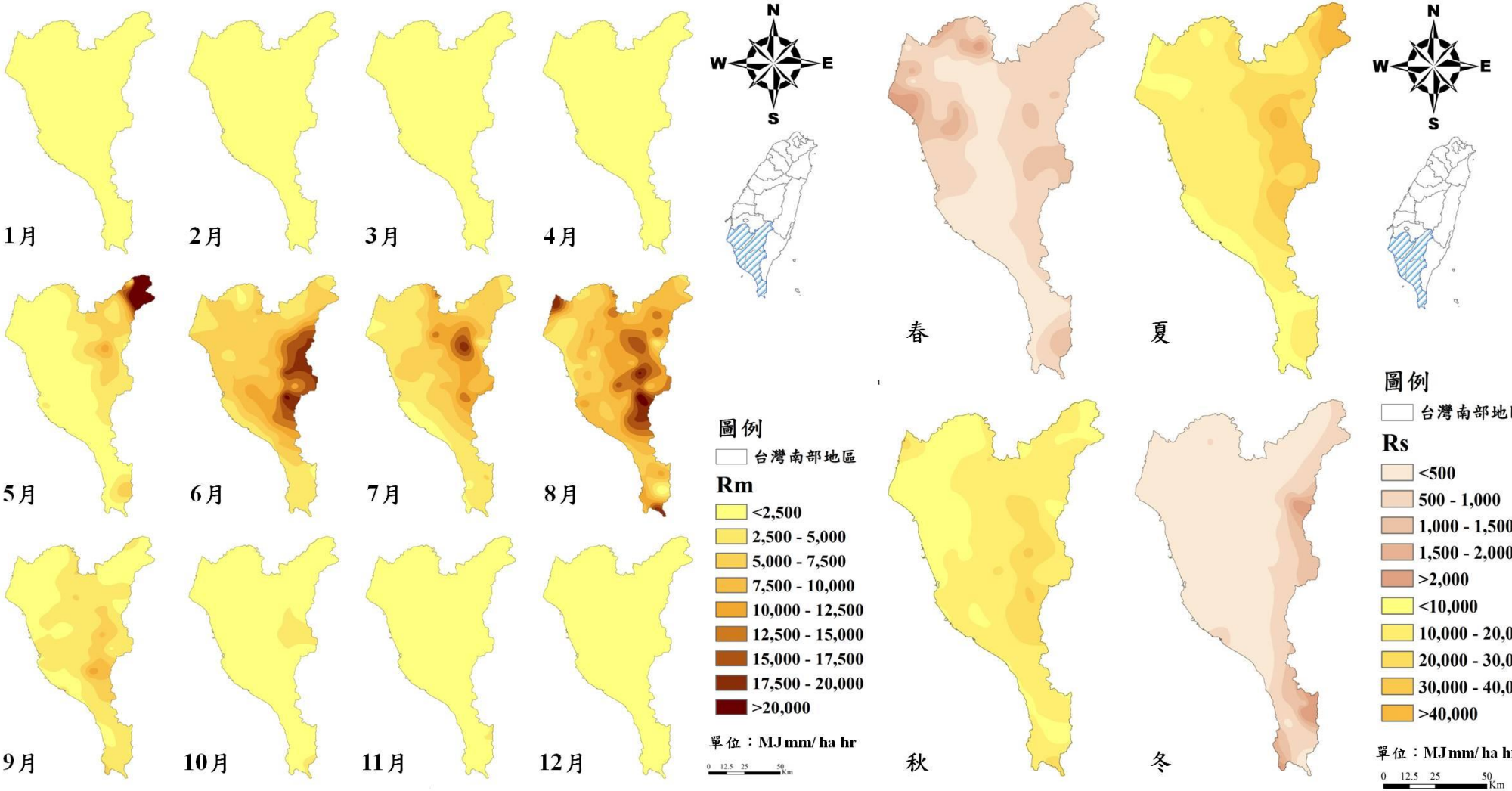
年平均降雨沖蝕指數隨時間之變化趨勢



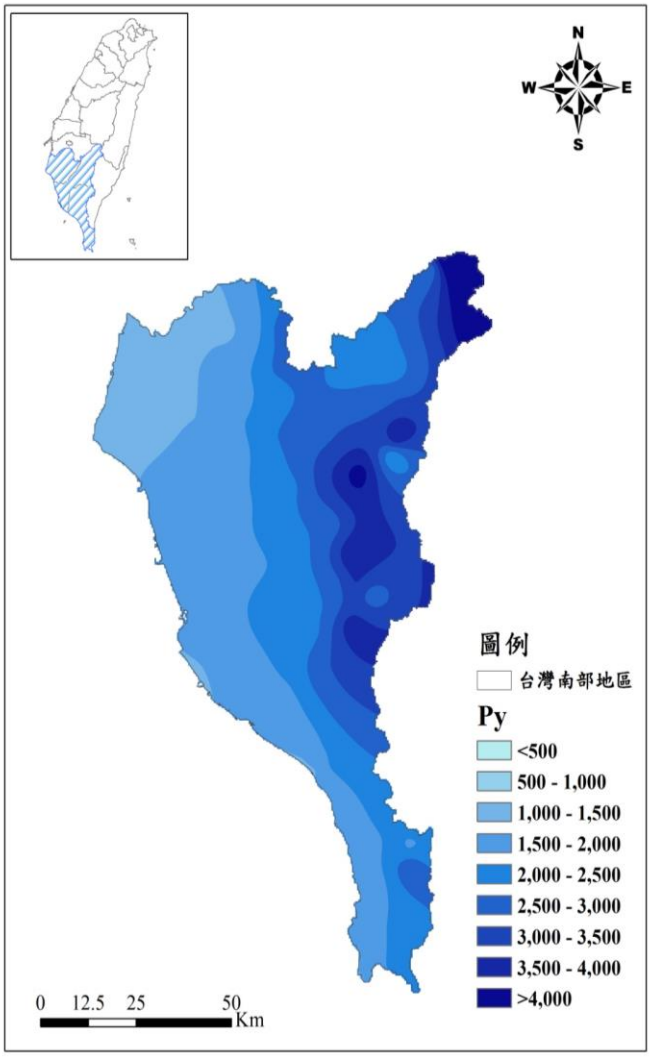


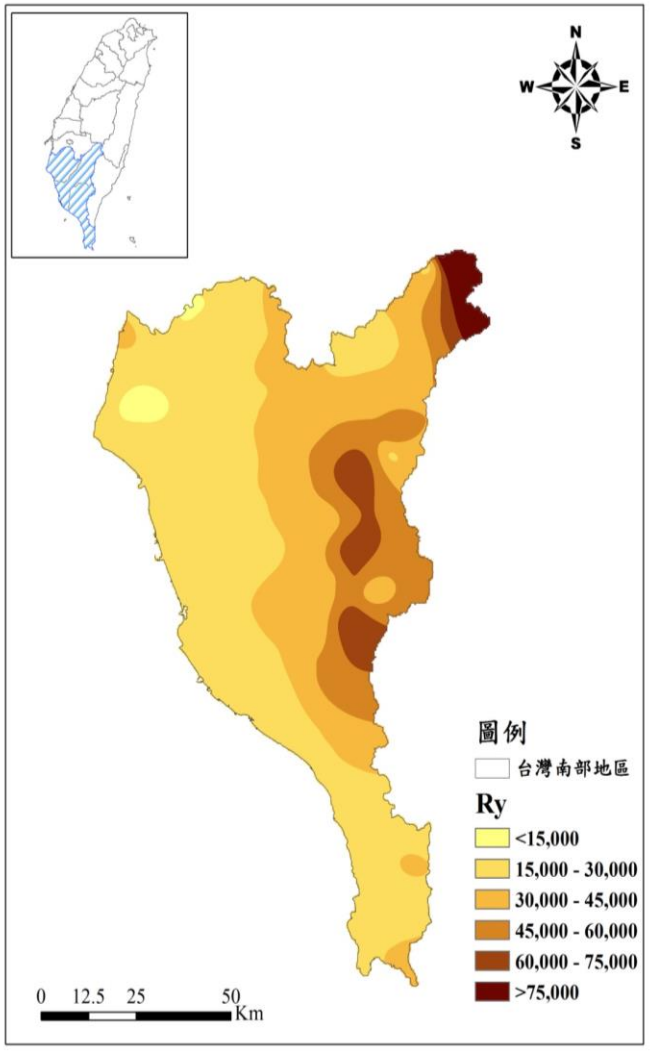
月及季降雨沖蝕指數之空間分布





年降雨沖蝕指數之空間分佈





山坡地土壤流失量分析

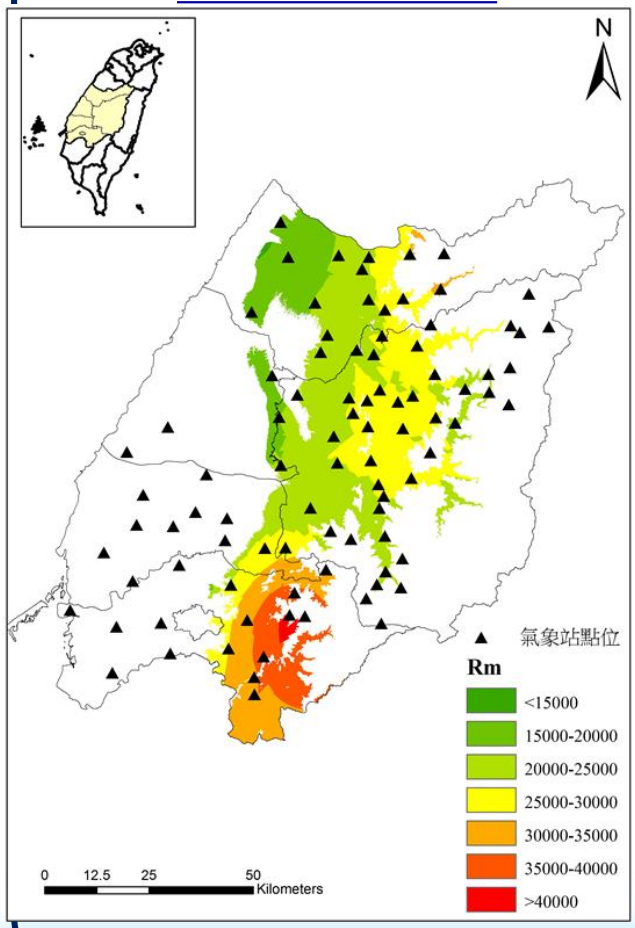


本計畫利用USLE公式進行推算山坡地土壤流失量：

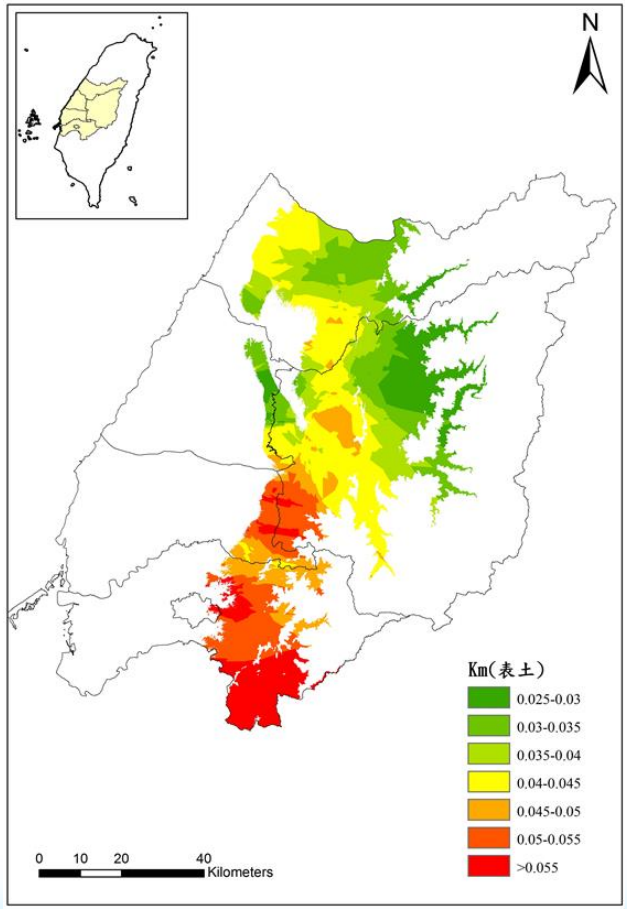
- R值以雨量站雨量資料進行推算分析；
- K值以所採集的樣本資料，代入Wischmeier公式進行推算；
- LS值採用DEM(數值地形模型)進行分析；
- C值利用NDVI(常態化差值植生指標)進行推算；
- P值採用1進行計算。

指數之空間變化

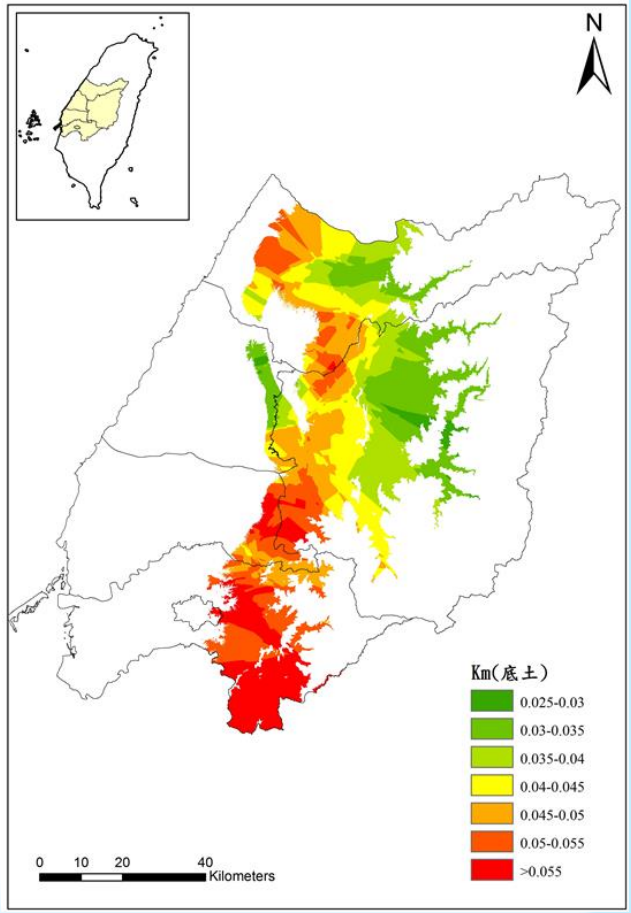
◆R值空間分佈圖



◆k值表土空間分佈

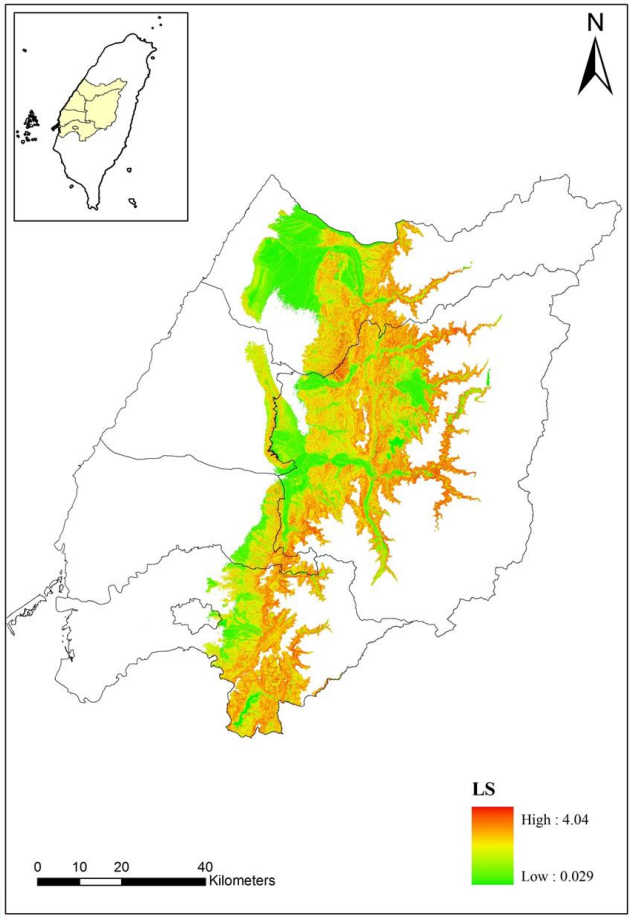


◆k值底土空間分佈

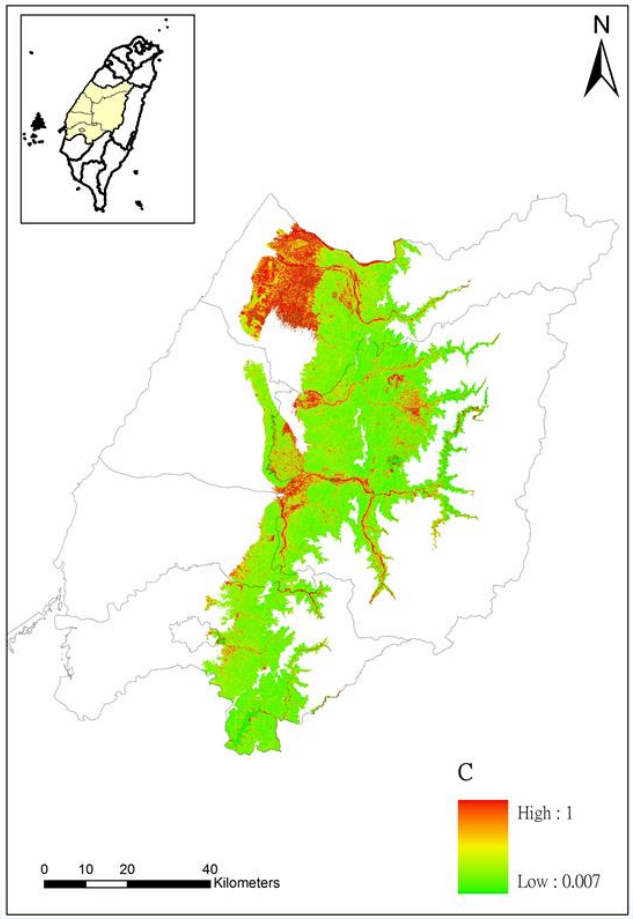


指數之空間變化

◆LS值空間分佈圖



◆C值空間分佈圖



臺灣中南部土壤流失空間分佈分析

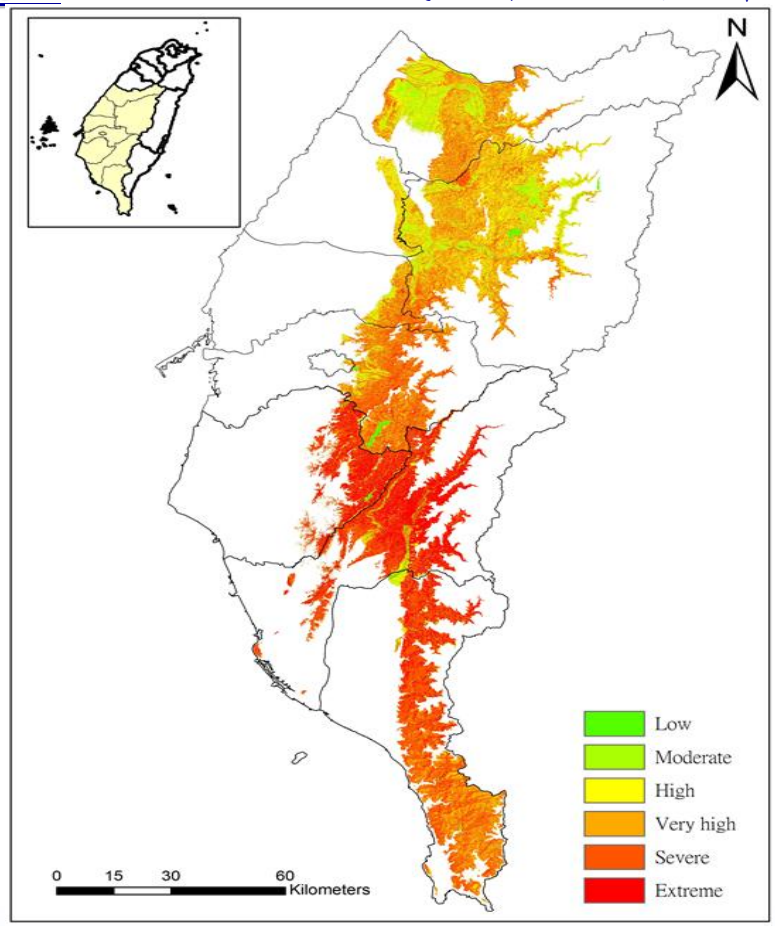


本計畫空間分佈資料皆為20 m × 20 m網格資料，計算每個網格內的土壤流失量，並依據FAO (1986)發佈的土壤侵蝕強度分級標準進行分級。

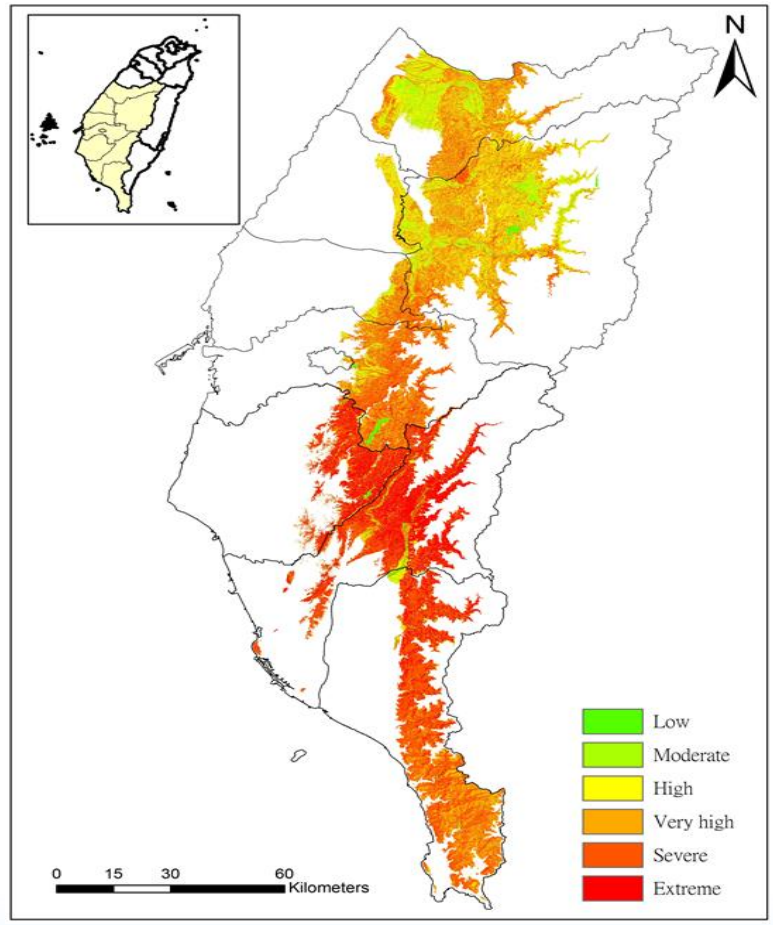
Severity class	Soil loss(t ha^{-1} yr^{-1})
Low	0–5
Moderate	5–20
High	20–50
Very high	50–100
Severe	100–150
Extreme	150–716

臺灣中南部土壤流失空間分佈分析

◆表土之Wischmeier公式推算之空間分布圖



◆底土之Wischmeier公式推算之空間分布圖



野外試區建置與驗證



- 現地土壤沖蝕量監測：鳳山試驗分所緩坡標準樣區

沖蝕試驗區規格			水槽規格		
長 (m)	寬 (m)	坡度 (°)	長 (m)	寬 (m)	深 (m)
22.13	4.0	10.0	2.0	1.0	1.9





年份	收集月份	降雨沖蝕性指數(Rm)	土壤沖蝕量(A)	土壤沖蝕性指數(Km)	RMSE
		(MJ-mm/ha-hr)	(kg)	(t·ha·yr·ha^{-1}·MJ^{-1}·mm^{-1})	
2016	9-10	2755.38	139.0 ± 3.4	0.0057	0.072
2016	11-12	151.29	269.0± 4.8	0.2009	
2017	1-2	50.15	4.7 ± 0.8	0.0106	
2017	3-4	51.65	4.2 ± 0.9	0.0092	
2017	5-6	5206	69.1 ± 5.4	0.0015	
2017	7-8	4318	55.5 ± 3.5	0.0015	
和社系土壤沖蝕性指數(Wischmeier and Smith, 1984)為0.0382					

野外試區建置與驗證

沖蝕試驗區規格			水槽規格		
長 (m)	寬 (m)	坡度 (°)	長 (m)	寬 (m)	深 (m)
22.13	4.0	9.0	2.0	1.0	1.9

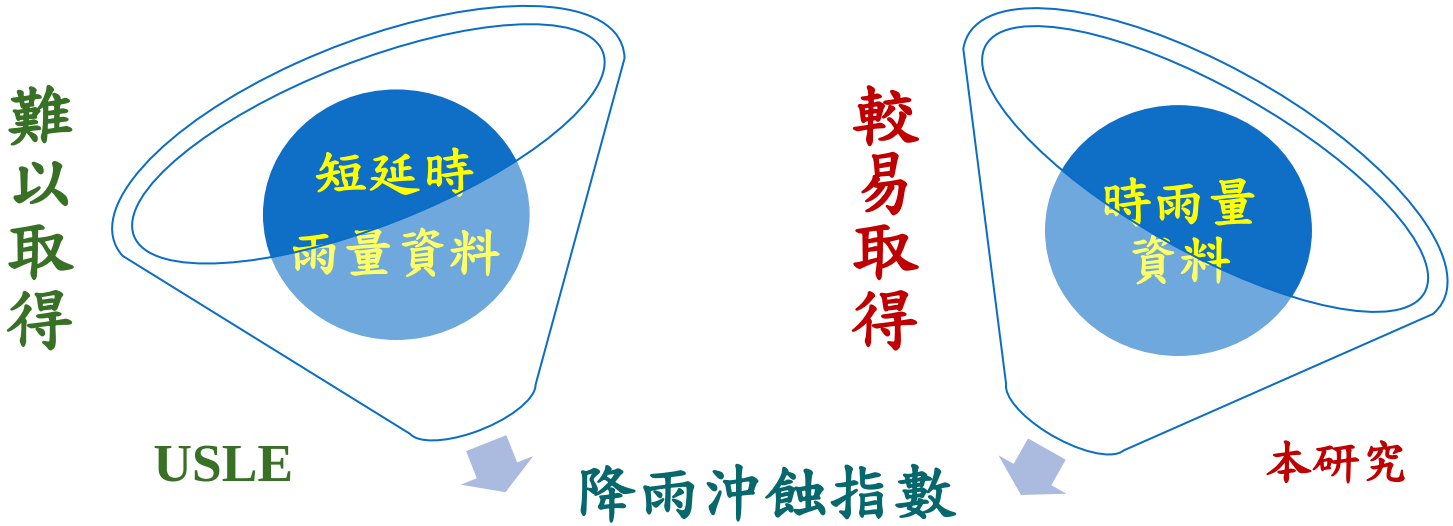
年份	收集月份	降雨沖蝕性指數(Rm) (MJ-mm/ha-hr)	土壤沖蝕量(A) (kg)	土壤沖蝕性指數(Km) ($t \cdot ha \cdot yr \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)	RMSE
2016	8	1099.2	1228	0.1262	0.055
2016	9	1123.1	120.3	0.0121	
2016	10	715	47.5	0.0075	
2017	5	322.73	306.1	0.1071	
2017	6	5317	368	0.0078	
2017	7	4641	44.66	0.0010	
2017	8	5383.33	400.79	0.0084	
老埤土系土壤沖蝕性指數(Wischmeier and Smith, 1984)為0.0138					





精進方法與研究1

由於降雨沖蝕指數(R_m)需要三十分鐘或更短延時的雨量資料，而許多地區缺乏短延時的雨量資料，因此如何使用較易取得的時雨量資料，推估降雨沖蝕指數，為本研究的重點。



精進方法與研究1



❖ 轉換係數之定義

降雨沖蝕指數 ⇒ $R_{30j}=E_{10}I_{30max}$

估算降雨沖蝕指數 ⇒ $R_{60j}=E_{60}I_{60max}$

其中，R_{30}及R_{60}=單場降雨之降雨沖蝕指數；

E_{10}及E_{60}=單場降雨之以10分鐘及60分鐘雨量計算的降雨動能；

$I_{30(max)}$及$I_{60(max)}$=單場降雨之最大30分鐘及60分鐘降雨強度。

研究方法



- 轉換係數之定義

單場降雨動能 ⇒ $\alpha_E = \frac{E_{10}}{E_{60}}$

單場降雨強度 ⇒ $\alpha_I = \frac{I_{30max}}{I_{60max}}$

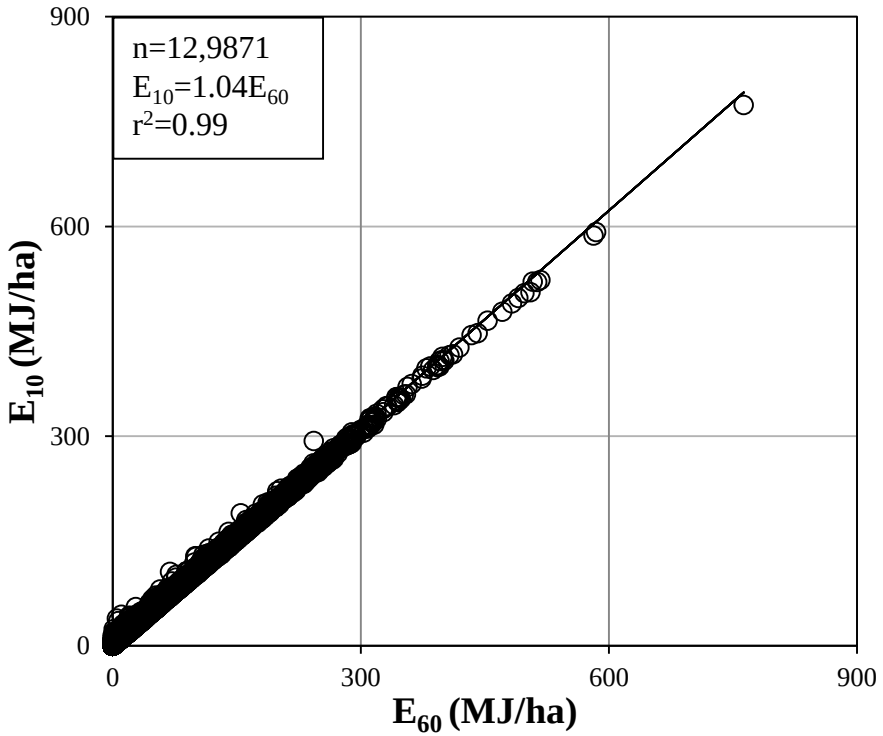
單場降雨沖蝕指數 ⇒ $\alpha_{Rj} = \frac{R_{30j}}{R_{60j}}$

年降雨沖蝕指數 ⇒ $\alpha_{Ry} = \frac{R_{30y}}{R_{60y}}$

降雨動能之迴歸關係

❖ 台灣地區

降雨動能E_{10}與E_{60}之迴歸關係



		E_{10}	E_{60}
E_{10}	Pearson	1	0.999**
	顯著性	-	0.000
	個數	12,9871	12,9871
E_{60}	Pearson	0.999**	1
	顯著性	0.000	-
	個數	12,9871	12,9871

註：**.在顯著水準為0.01時，相關顯著。

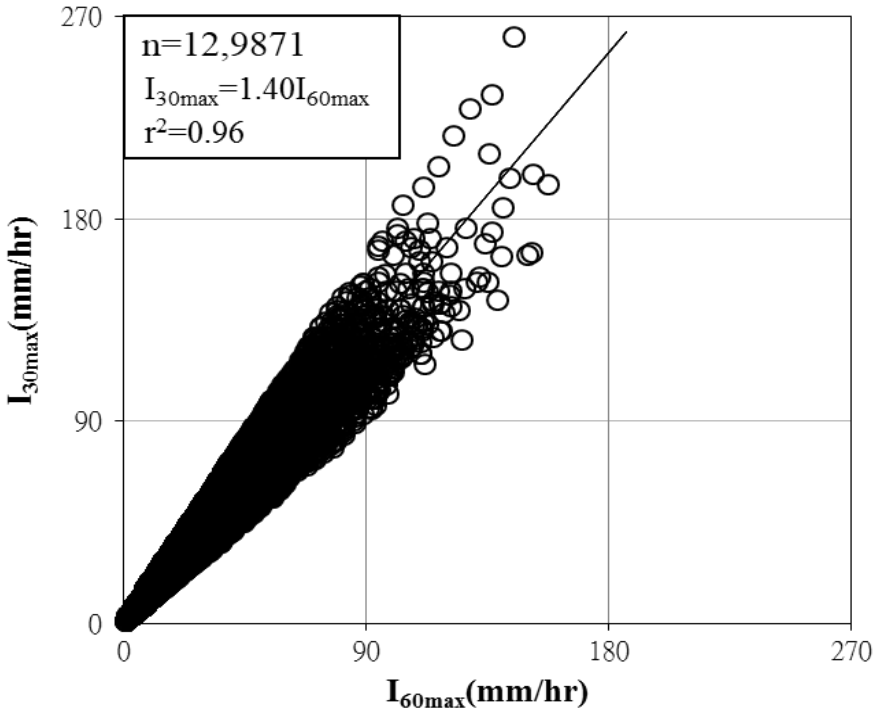
Anova	自由度	F	顯著性
	1	54,939,749	<0.001

係數	b之估計值	標準誤差	Beta分配	T	顯著性
	1.04	0.001	0.999	7412	<0.001

降雨強度之迴歸關係

❖ 台灣地區

降雨強度I_{30max}與I_{60max}之迴歸關係



		I_{30max}	I_{60max}
I_{30max}	Pearson	1	0.979**
	顯著性	-	0.000
	個數	12,9871	12,9871
I_{60max}	Pearson	0.979**	1
	顯著性	0.000	-
	個數	12,9871	12,9871

註：**.在顯著水準為0.01時，相關顯著。

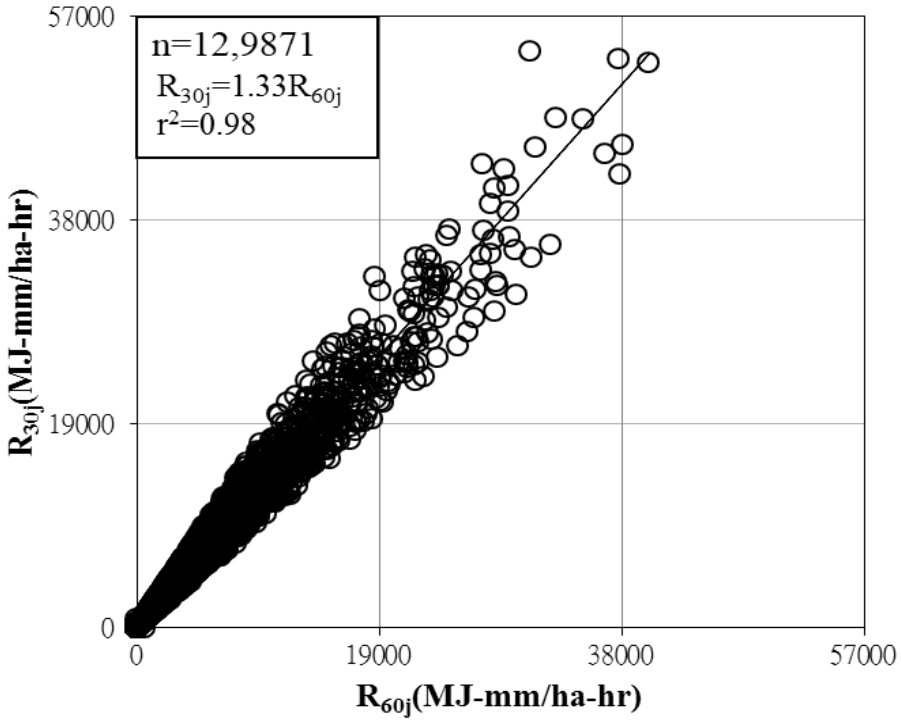
Anova	自由度	F	顯著性
	1	1,961,067	<0.001

係數	b之估計值	標準誤差	Beta分配	T	顯著性
	1.40	0.001	0.979	1,400	<0.001

單場降雨沖蝕指數之迴歸關係

❖ 台灣地區

單場降雨沖蝕指數R_{30j}與R_{60j}之迴歸關係



		R_{30j}	R_{60j}
R_{30j}	Pearson	1	0.991**
	顯著性	-	0.000
	個數	12,9871	12,9871
R_{60j}	Pearson	0.991**	1
	顯著性	0.000	-
	個數	12,9871	12,9871

註：**.在顯著水準為0.01時，相關顯著。

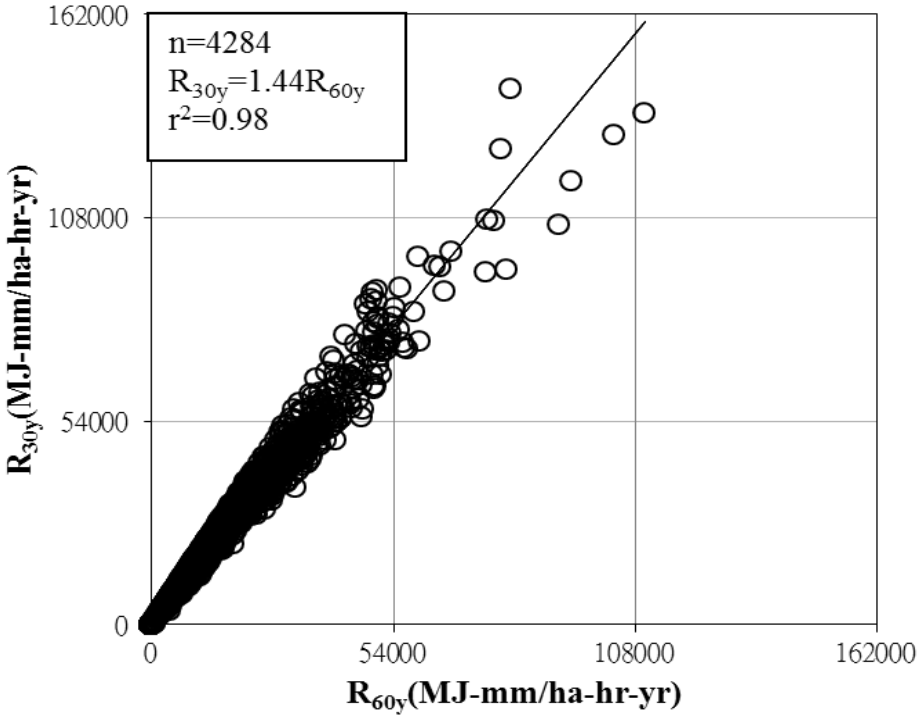
Anova	自由度	F	顯著性
	1	2,954,968	<0.001

係數	b之估計值	標準誤差	Beta分配	T	顯著性
	1.33	0.001	0.991	1,719	<0.001

年降雨沖蝕指數之迴歸關係

❖ 台灣地區

年降雨沖蝕指數R_{30y}與R_{60y}之迴歸關係



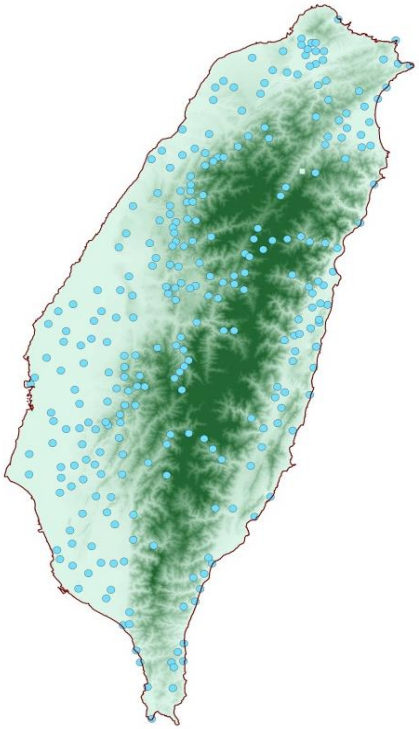
		R_{30y}	R_{60y}
R_{30y}	Pearson	1	0.989**
	顯著性	-	0.000
	個數	4284	4284
R_{60y}	Pearson	0.989**	1
	顯著性	0.000	-
	個數	4284	4284

註：**.在顯著水準為0.01時，相關顯著。

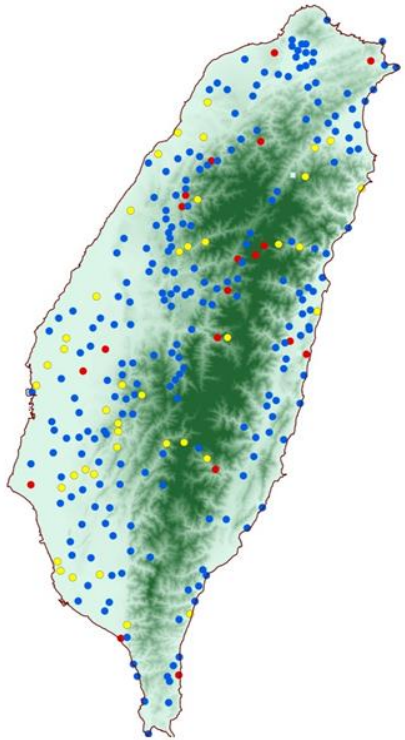
Anova	自由度	F	顯著性
	1	139,801	<0.001

係數	b之估計值	標準誤差	Beta分配	T	顯著性
	1.44	0.004	0.989	374	<0.001

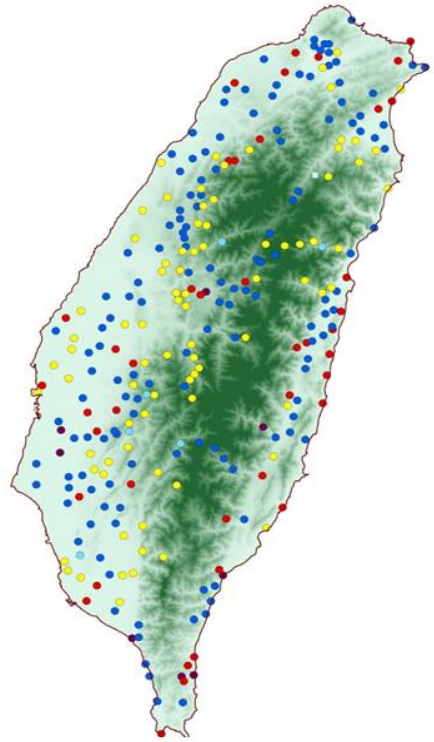
轉換係數之空間分佈



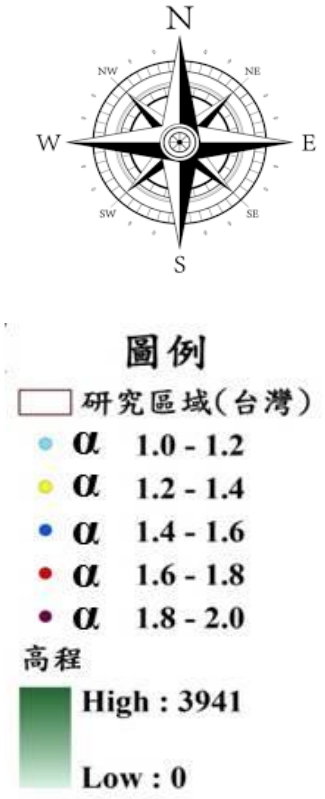
降雨動能α_E



降雨強度α_I



年降雨沖蝕指數α_{Ry}



本研究建立之降雨動能轉換係數α_E皆介於1.0-1.2，而降雨強度轉換係數α_I及年降雨沖蝕指數α_{Ry}大多介於1.4-1.6，其次為1.2-1.4。

精進方法與研究2



現行降雨動能計算方式

台灣降雨動能採用Wischmeier and Smith依據Laws及Parson (1943)對自然降雨實測資料推導之每公頃單位降雨量之降雨動能公式：

$$e_i = \begin{cases} 0.119 + 0.0873 \log I_i & \text{for } I_i < 76\ mm\,h^{-1} \\ 0.283 & \text{for } I_i \geq 76\ mm\,h^{-1} \end{cases}$$

式中反應出降雨強度超過76mm/h，單位降雨動能則為定值，不再隨降雨強度增加而改變，是否適用於臺灣，仍有待試驗。

本研究執行方式

本團隊架設雷射雨滴譜儀量測雨滴粒徑及下落速度，配合標準試區現地土壤流失量之量測，進行降雨動能關係式適用性之研究。

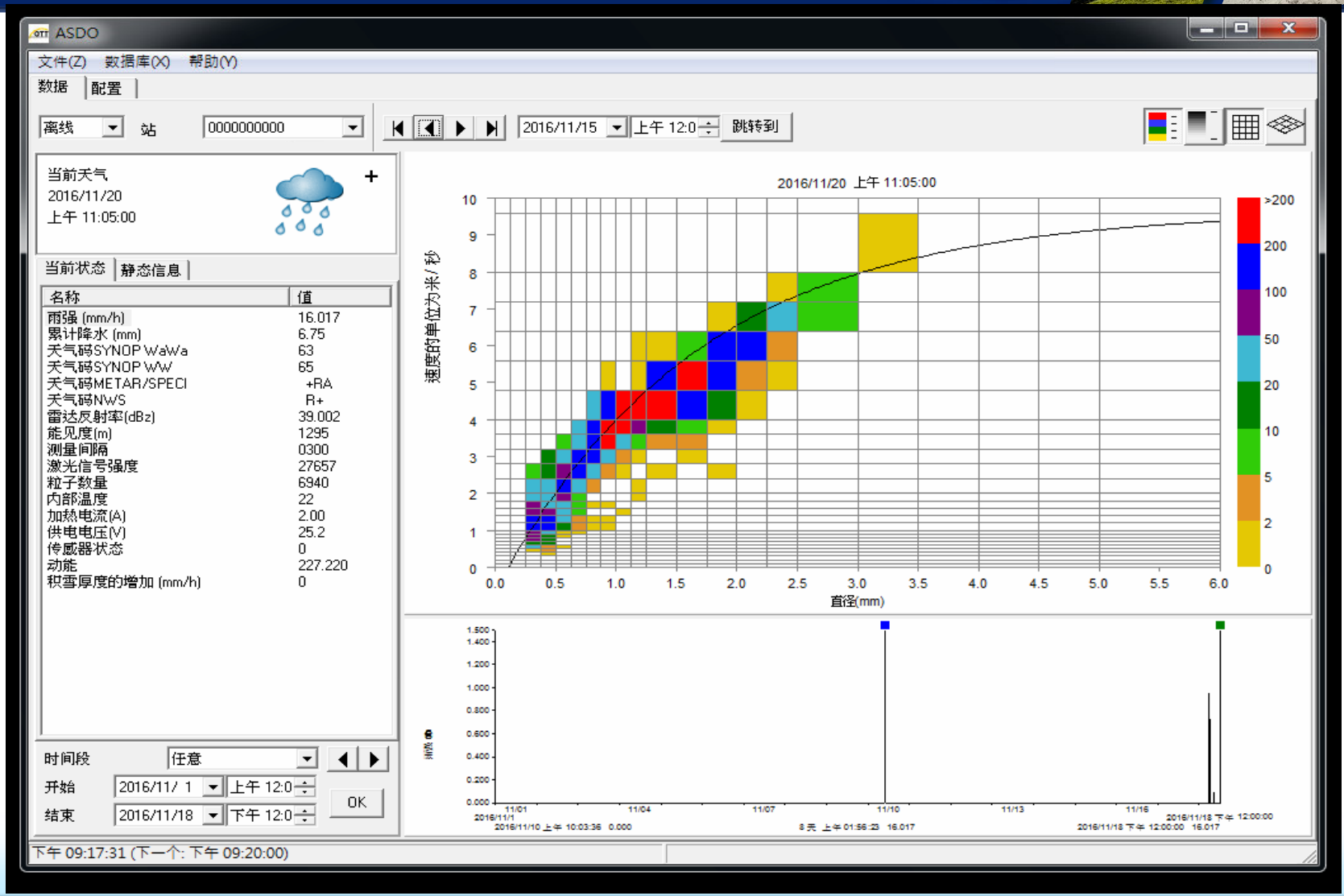
雨滴粒徑量測儀器

以德國Thies Clima公司所開發之OTT Parsivel*2雷射雨滴譜儀進行雨滴粒徑及速度量測

項目	範圍
雷射面積	22.8cm*2cm
雨滴粒徑	0.16~18mm
雨滴速度	0.2~20m/s
降雨強度	0.005mm/hr~ 250mm/hr



雷射雨滴譜儀使用介面


ASDO
文件(Z) 数据库(X) 帮助(Y)
数据 配置
离线 站 0000000000
2016/11/15 上午 12:0 跳转到
当前天气
2016/11/20
上午 11:05:00
当前状态 静态信息
名称 值
雨强 (mm/h) 16.017
累计降水 (mm) 6.75
天气码SYNOP WaWa 63
天气码SYNOP WW 65
天气码METAR/SPECI +RA
天气码NWS R+
雷达反射率(dBz) 39.002
能见度(m) 1295
测量间隔 0300
激光信号强度 27657
粒子数量 6940
内部温度 22
加热电流(A) 2.00
供电电压(V) 25.2
传感器状态 0
动能 227.220
积雪厚度的增加 (mm/h) 0
时间段 任意
开始 2016/11/ 1 上午 12:0
结束 2016/11/18 下午 12:0
OK
2016/11/20 上午 11:05:00
速度的单位为米/秒
直径(mm)
>200
200
100
50
20
10
5
2
0
下午 09:17:31 (下一个: 下午 09:20:00)

降雨動能分析



- 雨滴譜儀降雨動能計算-公式1

以觀測所得雨滴顆粒，以物理動能公式計算各雨滴動能：

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

m 質量(kg)

= D(密度) × V(體積)

v 速度(m/s)　　$V = \frac{4}{3}\pi r^2$

- 現行降雨動能計算方式-公式2

台灣降雨動能採用Wischmeier and Smith依據Laws及Parson (1943)對自然降雨實測資料推導之每公頃單位降雨量之降雨動能公式：

$$e_i = \begin{cases} 0.119 + 0.0873 \log I_i & \text{for } I_i < 76\, mm\, h^{-1} \\ 0.283 & \text{for } I_i \geq 76\, mm\, h^{-1} \end{cases}$$

式中反應出降雨強度超過76mm/h，單位降雨動能則為定值，不再隨降雨強度增加而改變。

相對誤差百分比



雷射雨滴譜儀之物理性降雨動能(實際量測降雨動能)及Laws及Parson所推導之降雨動能公式所計算之降雨動能(計算之降雨動能)利用相對誤差百分比進行分析

$$R = \left| \frac{A-B}{B} \right| \times 100\%$$

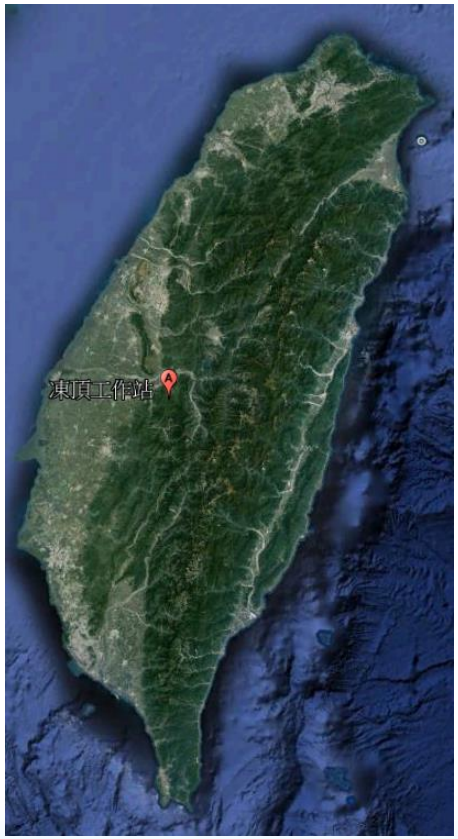
R為相對誤差百分比(%)
A為現行降雨動能(MJ/ha-mm)
B為雨滴譜儀降雨動能(MJ/ha-mm)

雨滴譜儀設置地點

凍頂工作站之雨滴譜儀

量測時間：
2017年4月
至今

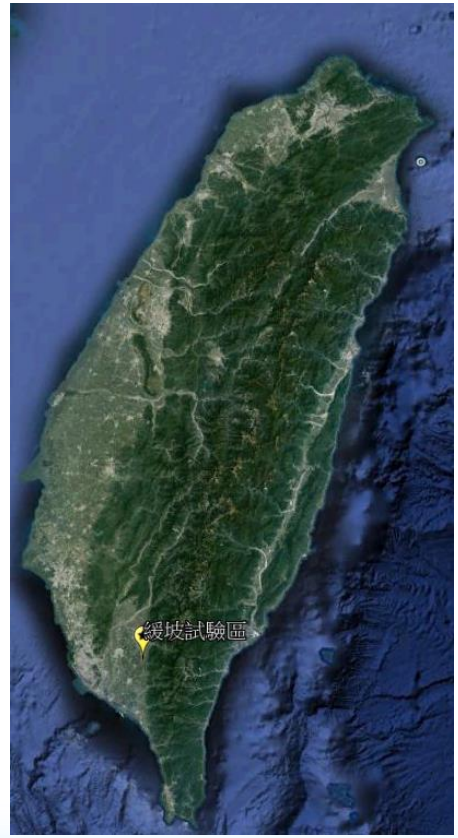
海拔高度：
410公尺



屏科大緩坡之雨滴譜儀

量測時間：
2016年7月
至今

海拔高度：
79公尺



凍頂工作站降雨動能分析



編號	時間(2017年)	五分鐘 最大降雨強度	總降 雨量	公式一	公式二	相對誤差百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
1	4月21日15:10~4月22日03:05	1.51	21.37	7.84	3.98	46.22
2	4月27日04:35~4月28日00:05	1.91	27.46	5.46	4.76	12.98
3	5月15日12:30~5月17日13:55	1.48	36.77	4.20	5.77	37.38
4	5月25日14:20~22:30	3.43	20.26	6.83	4.72	30.89
5	5月30日08:15~20:50	3.47	54.06	10.09	11.71	16.06
6	6月01日15:15~6月04日19:45	12.44	811.80	330.40	207.23	32.27
7	6月06日14:30~16:55	9.20	92.37	36.18	25.32	30.02
8	6月09日14:25~16:00	4.97	21.47	7.90	5.11	35.32
9	6月10日14:30~16:30	7.52	40.11	15.80	10.30	34.81
10	6月11日15:15~23:00	6.57	30.76	11.58	8.03	30.66
11	6月13日18:00~6月18日23:35	4.70	240.96	57.51	48.02	16.66
12	6月23日14:10~19:10	7.25	44.75	17.56	11.41	35.02
13	6月24日13:50~17:10	4.39	20.69	7.74	4.81	37.86
14	6月29日15:10~18:25	4.36	14.98	5.22	3.51	32.76
15	6月30日15:15~20:45	10.70	74.74	28.14	19.75	29.82

凍頂工作站降雨動能分析



編號	時間(2017年)	五分鐘 最大降雨強度	總降 雨量	公式一	公式二	相對誤差百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
16	7月01日15:35~19:25	11.97	77.1	27.62	20.63	25.31
17	7月03日15:45~20:25	6.61	41.55	10.60	10.26	3.21
18	7月04日12:10~20:20	2.41	18.13	4.95	3.34	32.53
19	7月06日13:55~21:20	3.95	17.95	4.99	3.91	21.64
20	7月07日13:35~20:55	7.56	81.74	33.12	19.31	41.70
21	7月08日14:10~18:45	14.54	93.69	35.87	24.41	31.95
22	7月10日14:55~18:00	12.23	146.03	60.39	38.91	35.57
23	7月11日20:10~20:55	5.21	7.14	3.63	1.73	52.34
24	7月12日15:30~16:30	5.73	10.16	3.71	2.57	30.73
25	7月14日15:15~19:35	5.71	25.62	8.79	6.08	30.83
26	7月15日16:25~18:20	12.23	48.48	19.56	12.51	36.04
27	7月16日16:25~19:10	15.99	71.81	31.27	18.59	40.55
28	7月19日16:10~18:15	3.26	18.27	6.59	3.80	42.34
29	7月24日15:55~20:05	3.25	15.6	6.07	3.45	43.16
30	7月29日11:40~7月30日04:15	6.23	63.7	18.96	13.69	27.80

凍頂工作站降雨動能分析



編號	時間(2017年)	五分鐘最大降雨強度	總降雨量	公式一	公式二	相對誤差百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
31	8月3日15:20~8月4日00:35	1.90	15	2.89	2.89	0
32	8月18日14:45~16:50	5.44	31	11.31	7.88	30.3
33	8月23日1:25~8月24日1:45	7.41	99	33.70	25.49	24.4
34	8月24日12:10~19:55	1.87	24	5.49	4.54	17.3
35	8月27日13:50~19:25	15.51	203	99.57	54.69	45.1
36	9月2日13:00~19:45	3.83	55	12.43	12.21	1.8
37	9月3日11:45~19:00	10.32	65	23.28	16.30	30.0
38	9月4日13:15~21:35	7.79	54	18.62	13.94	25.1
39	9月6日16:25~19:25	1.95	21	6.71	4.62	31.2
40	10月1日18:05~19:25	3.91	82	4.29	13.41	212.6
41	10月13日18:50~10月15日20:10	0.56	62	18.69	9.79	47.6
Avg.		6.58	76	26.62	18.51	34.5
Max.		15.99	812	330.40	207.23	212.6
Min.		0.56	7	2.89	1.73	0

屏科大站降雨動能分析



編號	時間(2016年)	五分鐘 最大降雨強度	總降 雨量	公式一	公式二	相對誤差 百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
1	7月22日15:10~17:00	5.95	31.14	9.03	7.82	13.4
2	8月4日13:25~19:55	4.37	14.12	3.25	3.29	1.2
3	8月6日14:15~18:55	1.42	13.06	2.72	2.49	8.5
4	8月7日15:55~20:40	4.20	22.46	6.32	5.30	16.1
5	8月8日16:04~21:35	1.45	14.86	1.60	1.99	24.4
6	8月9日14:35~17:55	9.85	28.83	7.77	7.24	6.8
7	8月16日13:50~18:30	1.29	13.88	1.57	2.47	57.3
8	8月17日13:50~19.:30	3.88	18.35	2.38	3.41	43.3
9	8月19日15:40~19:20	1.63	77.87	2.37	13.11	453.2
10	8月26日23:25~8月27日00:30	6.07	27.33	7.41	7.53	1.6
11	8月29日12:58~17:35	4.33	36.24	5.44	6.56	20.6
12	9月2日13:39~17:35	3.40	55.09	3.09	9.45	205.8
13	9月27日1:25~9月28日23:30	1.50	144.48	305.20	106.26	65.2

屏科大站降雨動能分析



編號	時間(2016年)	五分鐘 最大降雨強度	總降 雨量	公式一	公式二	相對誤差 百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
14	10月1日15:10~16:20	3.99	21.37	2.06	4.31	109.2
15	10月6日1:20~ 10月9日14:35	2.92	124.84	20.86	16.80	19.5
16	10月11日14:15~18:45	8.25	39.51	12.06	10.42	13.6
17	10月20日00:00~ 10月21日09:40	2.15	32.28	5.10	5.47	7.3
18	11月26日17:00~ 11月29日00:25	1.12	53	7.56	8.89	17.6
Avg.		3.90	36.65	5.92	6.86	60.0
Max.		9.85	125	20.86	16.8	453.2
Min.		1.12	13	1.57	1.99	1.2

屏科大站降雨動能分析



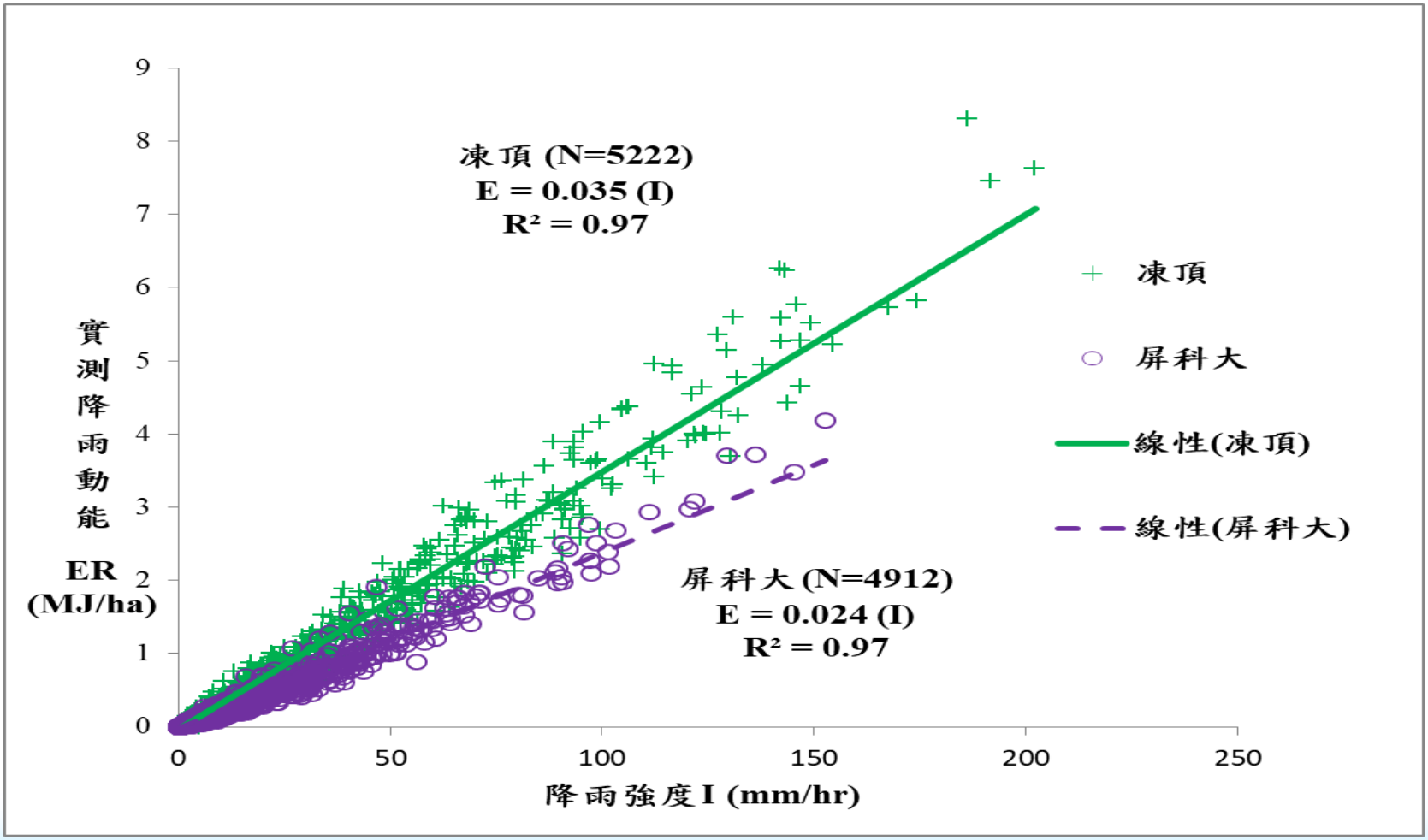
編號	時間(2017年)	五分鐘 最大降雨強度	總降 雨量	公式一	公式二	相對誤差 百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
1	4月11日18:40~4月12日15:10	18.80	22	4.51	4.07	9.8
2	4月12日23:40~4月13日09:00	13.81	13	1.57	2.20	10.1
3	4月22日00:30~17:00	5.47	50	9.66	10.11	4.7
4	5月24日07:20~15:25	6.05	32	8.84	7.64	13.6
5	5月25日18:25~23:25	2.54	21	3.32	4.38	31.9
6	5月28日13:40~15:55	5.91	28	7.45	6.98	6.3
7	6月01日02:00~6月04日18:20	7.45	246	62.64	56.29	10.1
8	6月07日19:05~6月08日15:30	8.45	43	11.94	11.07	7.3
9	6月09日14:20~15:30	7.42	19	5.24	5.06	3.4
10	6月12日20:55~6月13日09:40	4.99	29	7.29	7.32	0.4
11	6月13日21:00~6月18日11:30	7.57	243	60.60	55.89	7.8
12	7月02日14:00~22:40	12.12	67	18.93	18.87	0.3
13	7月12日15:45~17:30	3.36	79	25.99	23.07	11.2
14	7月29日03:20~7月30日03:30	4.19	114	24.93	25.75	3.3

屏科大站降雨動能分析

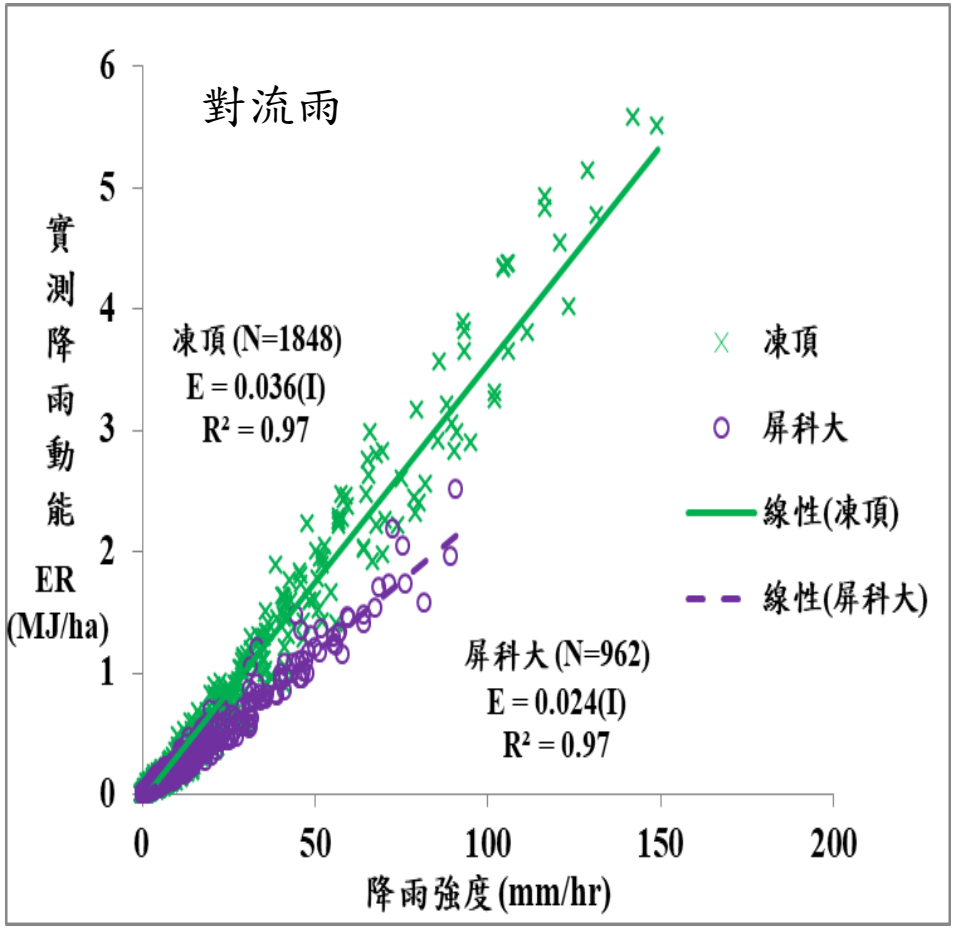


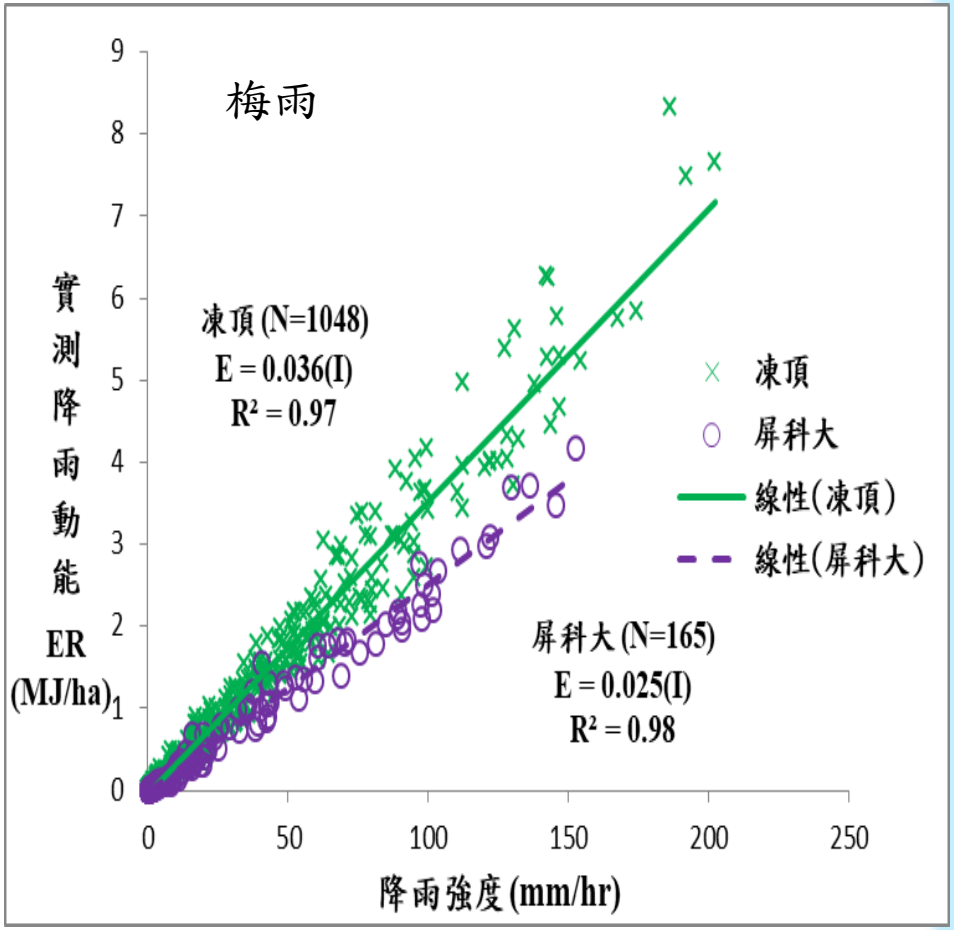
編號	時間(2017年)	五分鐘 最大降雨強度	總降 雨量	公式一	公式二	相對誤差 百分比
		(mm/5min)	(mm)	(MJ/ha)	(MJ/ha)	(%)
15	7月30日13:10~8月04日01:35	6.69	377	83.56	87.52	4.7
16	8月04日12:20~14:55	4.64	26	8.48	6.12	27.8
17	8月16日14:10~15:50	8.46	66	17.09	17.94	5.0
18	8月18日15:55~20:45	8.61	60	18.75	15.72	16.2
19	8月20日15:25~18:10	7.65	57	16.92	14.94	11.7
20	8月30日17:20~9月01日11:35	0.42	25	4.45	3.60	19.1
21	10月03日11:05~16:10	6.90	119	20.60	32.19	56.3
22	10月13日08:05~ 10月16日08:15	3.04	148	22.86	28.11	23.0
Avg.		7.02	85.64	20.26	20.22	12.9
Max.		18.8	377	83.56	87.52	56.3
Min.		0.42	13	1.57	2.2	0.32

降雨強度與降雨動能分析

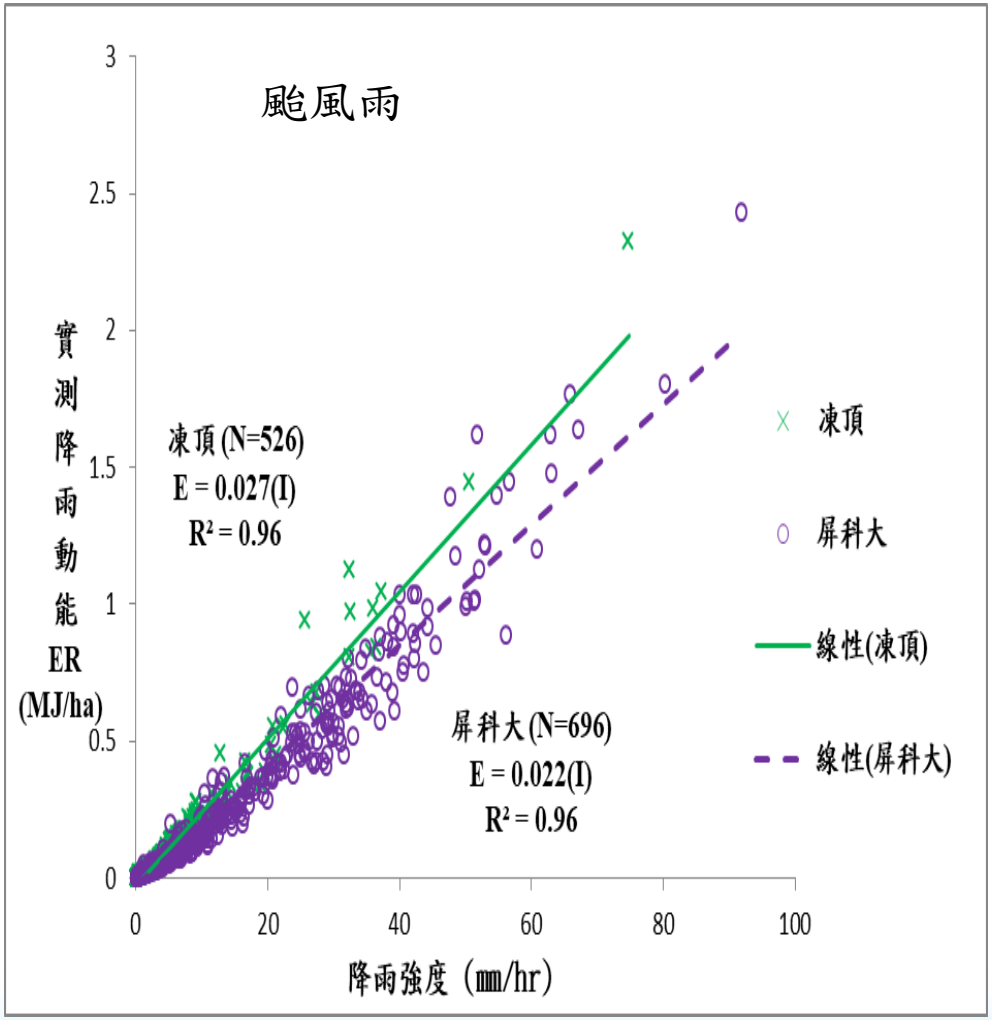


不同降雨型態分析


對流雨
實測降雨動能 ER (MJ/ha)
凍頂 (N=1848)
E = 0.036(I)
R² = 0.97
屏科大 (N=962)
E = 0.024(I)
R² = 0.97
凍頂
屏科大
線性(凍頂)
線性(屏科大)
降雨強度 (mm/hr)
0
1
2
3
4
5
6
0
50
100
150
200


梅雨
實測降雨動能 ER (MJ/ha)
凍頂 (N=1048)
E = 0.036(I)
R² = 0.97
屏科大 (N=165)
E = 0.025(I)
R² = 0.98
凍頂
屏科大
線性(凍頂)
線性(屏科大)
降雨強度 (mm/hr)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
50
100
150
200
250

不同降雨型態分析



本團隊後續將配合標準試區現地土壤流失量之量測，進行降雨動能關係式適用性之探討，建立適用於台灣地區之土壤沖蝕估算模式。

謝謝聆聽

Thank you for your listening.





前言



◆USDA公式 (Shirazi and Boersma, 1984)

$$Km=1.0001298\times\left\{0.0034+0.0405exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{log(D_g)+1.69}{0.7010}\right)^2\right]\right\}$$

其中：

$$D_G=exp\,(0.01\sum_{i=0}^{n}f_i\cdot ln\,mi\;=exp\left[\sum_i f_i\,ln\left(\sqrt{d_i d_{i-1}}\right)\right])$$

f_i=i粒徑等級之含量比；

m_i=i顆粒粒徑上下限之算術平均值。