

泥砂產量推估之研究—以大南澳集水區為例

田倚寧⁽¹⁾ 林文賜⁽²⁾ 林昭遠⁽³⁾

摘要

集水區之泥砂產量主要來自坡面與崩場地，本研究以南澳北溪上游及蘭陽溪支流番社坑溪集水區為研究範圍，利用地理資訊系統（GIS）配合SPOT衛星影像，探討集水區泥砂生產機制。在文中分別以通用土壤流失公式（USLE）推估集水區坡面土壤流失量、Khazai and Sitar法計算崩塌量，並將兩者配合坡面泥砂遞移率、河道衰減率及降雨量之關係，推估單場暴雨所產生之集水區泥砂產量。另外，也以降雨逕流模式模擬單場暴雨之流量歷線，找出其洪峰校正係數 β 與集水區泥砂產量之迴歸式，得到南澳北溪上游集水區之泥砂產量 $\hat{y} = 84853\beta + 3398.7$ ($R^2 = 0.9206$)，番社坑溪集水區之泥砂產量 $\hat{y} = 10303\beta + 387.62$ ($R^2 = 0.2133$)。

（關鍵字：地理資訊系統、泥砂產量、降雨逕流模式）

Estimation of sediment yield — a case study at Da-Nan-Ao watershed

Yi-Ning Tien⁽¹⁾

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

Wen-Tzu Lin⁽²⁾

Graduate Institute of Environmental Planning and Design,
Ming-Dao University, Changhua, Taiwan 523, R.O.C.

Chao-Yuan Lin⁽³⁾

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

Sediment yield of a watershed comes from slope erosion and landslides through the bluelines to the outlet. This study estimated sediment yield in upstream watershed of Nan-Ao-Bei Creek and a tributary of Lanyang River. Using GIS (Geographic Information Systems) technology and SPOT

(1) 國立中興大學水土保持學系碩士生

(2) 明道管理學院環境規劃暨設計研究所助理教授

(3) 國立中興大學水土保持學系教授

images to predict sediment transport mechanisms. In this study, the USLE (Universal Soil Loss Equation) was used to estimate soil loss from slope lands. The method suggested by Khazai and Sitar was employed to predict the landslide quantity. Combining SDR (Sediment Delivery Ratio), channel attenuation rate and rainfall intensity, the watershed sediment yields can be estimated in a storm event. In the meantime, the hydrograph derived from rainfall-runoff model can be used to verify the peak discharge β correction coefficient and the regression on sediment prediction equation. The results indicated that the sediment yield equation for the upstream watershed of Nan-Ao-Bei Creek is $y = 84853\beta + 3398.7$ and $y = 10303\beta + 387.62$ for the tributary of Lainyang River.

(**Key words:** Geographic Information System, sediment yields, rainfall-runoff model)

前言

研究試區位於台灣東北部，介於宜蘭縣大同鄉與南澳鄉之間，由於歐亞板塊和菲律賓賓板塊之互相擠壓作用，導致地震頻繁，使得地質脆弱而易鬆動，加上台灣東北地區多有季風夏有颱風之影響，導致雨量充沛，降雨頻繁，大量土石泥砂往往隨著河水急洩而下，危害下游地區之生命財產安全。因此，集水區之土壤沖蝕與泥砂產量為坡地災害的主要問題所在，如何量化分析泥砂產量為其重要課題。集水區泥砂產量推估往往除坡面土壤流失以外，崩塌地亦是集水區泥砂的主要來源，估算集水區坡面與崩塌地之泥砂產量有其必要性。此外，降雨事件的發生為泥砂輸出的主要動力，且降雨量影響著泥砂產量，故亦將之列入考慮因素。由此量化分析集水區之泥砂資訊，盼能利於坡地泥砂災害或集水區水庫泥砂淤積等之推估，以提供集水區經營管理之參考。

樣區與方法

一、研究試區概況

(一) 地形

研究試區橫跨宜蘭縣大同鄉及南澳鄉（圖 1），以南澳北溪上游集水區及番社坑溪集水區為對象，集水區面積分別為 37.17 km^2 與 11.02 km^2 ；地勢由西南向東北傾斜，海拔約為 228-2149 公尺，其高程、坡度及坡向分

布如圖 2～圖 4 所示，由表 1~3 可知主要坡度為 6 級坡（55%~100%），坡向則以東坡向所佔面積居多（表 1~表 3）。

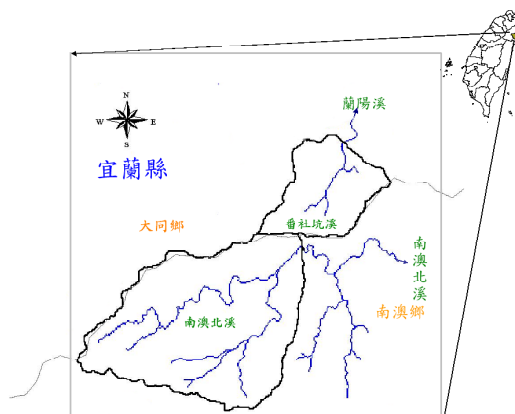


圖 1. 研究試區行政區域圖

Figure 1. Site of the study area.

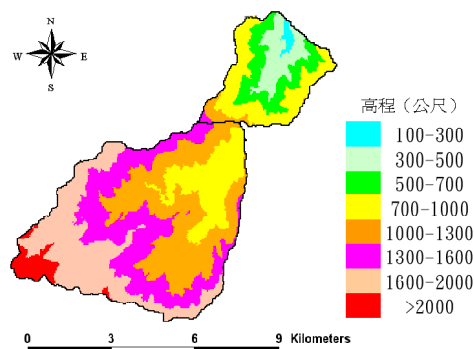


圖 2. 試區高程分布圖

Figure 2. Elevation distribution of the study area.

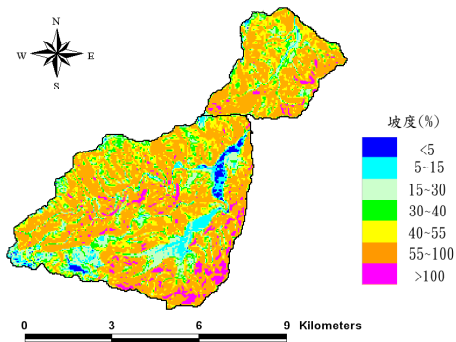


圖 3. 試區坡度分布圖

Figure 3. Slope distribution of the study area.

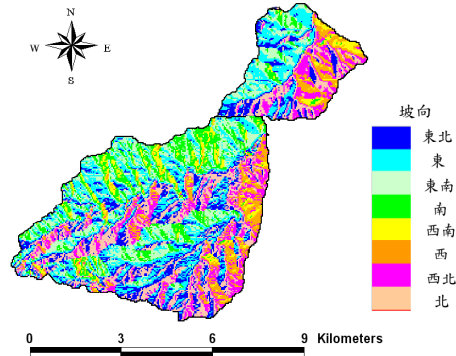


圖 4. 試區坡向分布圖

Figure 4. Aspect distribution of the study area.

表 1. 研究區高程分級統計表

Table 1. Statistics of elevation classified for the study watersheds.

高程 (m)		100-300	300-500	500-700	700-1000	1000-1300	1300-1600	1600-2000	>2000
集水區	面積 (km ²)	—	—	—	5.15	11.00	9.87	9.69	1.46
	百分比 (%)	—	—	—	13.86	29.59	26.55	26.07	3.93
番社坑溪	面積 (km ²)	0.32	2.43	3.17	4.41	0.59	0.10	—	—
	百分比 (%)	2.90	22.05	28.77	40.02	5.35	0.91	—	—

註：— 表示無此資料

表 2. 研究區坡度分級統計表

Table 2. Statistics of slope classified for the study watersheds.

坡度 (%)		<5	5-15	15-30	30-40	40-55	55-100	>100
集水區	面積 (km ²)	0.56	2.19	4.14	3.59	6.72	18.15	1.82
	百分比 (%)	1.53	5.90	11.14	9.65	18.07	48.81	4.90
番社坑溪	面積 (km ²)	0.02	0.18	0.85	1.07	2.68	5.97	0.26
	百分比 (%)	0.22	1.68	7.68	9.69	24.19	54.12	2.42

表 3. 研究區坡向分級統計表

Table 3. Statistics of aspect classified for the study watersheds.

坡向		東北	東	東南	南	西南	西	西北	北
集水區	面積 (km ²)	5.32	6.85	5.80	4.44	1.90	3.03	3.69	6.14
	百分比 (%)	14.31	18.43	15.60	11.94	5.11	8.15	9.93	16.53
番社坑溪	面積 (km ²)	1.56	2.24	1.52	0.52	0.59	1.31	1.67	1.61
	百分比 (%)	14.16	20.33	13.79	4.72	5.36	11.89	15.15	14.60

(二) 地質

研究區域內除南澳北溪上游集水區為西村層與廬山層混合之外，其餘集水區皆為廬山層（圖 5），其分布統計如表 4。

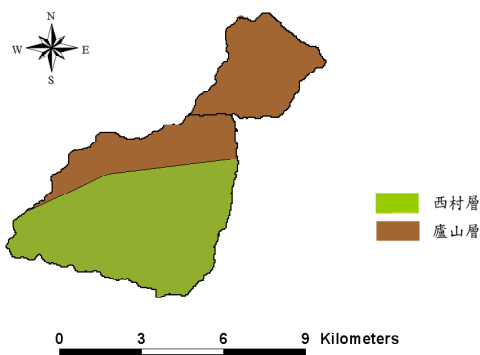


圖 5 研究區地質分布圖

Figure 5. Spatial distribution of geology.

表 4 集水區地質分布統計表

Table 4. Statistics of geology for each watershed.

地質		西村層	廬山層
集水區	面積 (km ²)	27.52	9.65
	百分比 (%)	74.04	25.96
番社坑溪	面積 (km ²)	—	11.02
	百分比 (%)	—	100

註：—表示無此資料

(三) 土地利用

由於研究區內周邊山林、溪流等自然景觀資源豐富，適合從事定點、生態旅遊、農場體驗、露營、團康及親子活動，有少部分已開發為遊憩區。其餘部分仍保留其原來樣貌，為未開發之林班地。

(四) 水系

研究區位於南澳溪支流南澳北溪上游段，以及蘭陽溪支流番社坑溪，且約以山腳及古魯水位測站處劃設集水區範圍。南澳北溪上游集水區主流長約為 15.47 km，番社坑溪為 5.79 km。

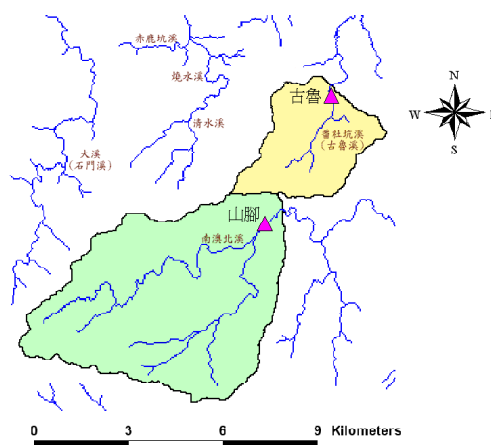


圖 6. 研究區水系分布圖

Figure 6. The distribution of stream network.

(五) 集水區地文資訊分析
參考林昭遠、林文賜 (2000) 地文因子
計算式，整合 DEM (40m*40m) 資料及地理

資訊系統技術，分析集水區之地文資訊，結果如表 5 所示：

表 5. 集水區地文因子

Table 5. The geomorphologic information of watersheds.

集水區	(1) 尺度類因子						(2) 梯度類因子		(3) 形狀類因子		
	集水區面積 (km ²)	集水區周長 (km)	集水區長度 (km)	河川主流長度 (km)	平均高程 (m)	起伏量 (m)	平均坡度 (%)	起伏比	集水區寬度 (km)	密集度	圓比值
南澳北溪上游	37.17	33.6	9.4	15.47	1396.3	1386	55.89	0.15	2.64	0.64	0.41
番社坑溪	11.02	18.96	4.7	5.79	677.56	1243	57.51	0.27	3.05	0.62	0.39

二、研究流程

首先探討坡面、崩塌地之泥砂產量，並以兩者估算集水區之泥砂產量。另外，亦以降雨逕流模式之修正係數 β ，建立與泥砂產量之迴歸式，研究流程如下圖 7 示。

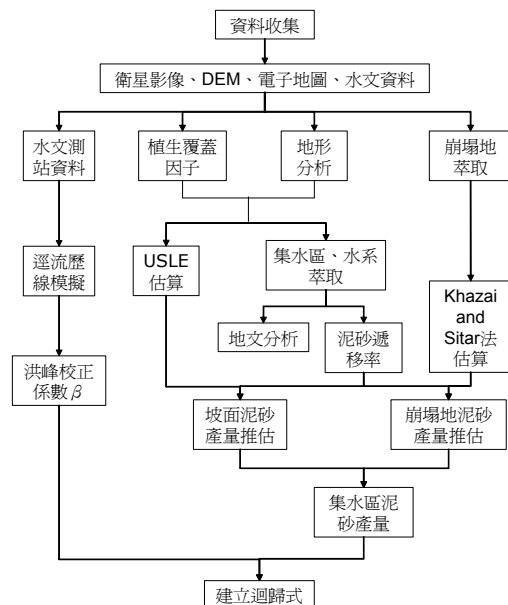


圖 7. 研究流程圖

Figure 7. Flow chart of the study.

(一) 集水區泥砂產量推估

集水區泥砂來源主要分為二大部分：1. 坡面 2. 崩塌地 (林昭遠, 2004)。由於坡面泥砂產量以年為計算單位，為配合崩塌地泥砂產量，因此考慮降雨因子將兩者加以合併轉化。首先計算坡面泥砂產量，利用 USLE 公式推算坡面土壤流失量，結合泥砂遞移率之概念，即可求得坡面之年平均泥砂產量。但由於每場降雨所輸出之泥砂產量亦不同，故以單場降雨為考量，將 USLE 所推算之年平均泥砂產量換算成單場降雨之坡面泥砂產量。另外，崩塌地方面，則使用 Khazai and Sitar 法 (歐陽元淳, 2003) 配合由衛星影像萃取之崩塌地分布，計算集水區崩塌量。以單場暴雨為計算單元，考慮遞移率、河道衰減率，進行崩塌地泥砂產量的推估，其推估方法分述如下：

1. 坡面泥砂產量推估

(1) 坡面土壤流失量推估

依據水土保持技術規範 (2003) 第 35 條之規定，採用通用土壤流失公式 (USLE) 估算坡面土壤流失量 $A_m = R_m * K_m * L * S * C * P$ 。式中參數分述如下：

a. 降雨沖蝕指數 (Rm)

採用黃俊德 (1979) 利用氣象站之記錄以非線性迴歸方程式求算各地雨量與年降雨沖蝕指數的關係，所建立之臺灣本島的年平均降雨沖蝕指數。

b. 土壤沖蝕指數 (Km)

台灣地區之土壤沖蝕指數 (Km) 採用萬鑫森、黃俊義 (1981、1989) 所調查之台灣坡地土壤沖蝕指數值，利用地理統計可求算台灣地區土壤沖蝕指數等值圖。

c. 坡長因子 (L)

坡長之計算以 WinGrid 軟體，自動坡長萃取模組 (林昭遠、林文賜，1999)，其為應用 Wischmeier and Smith (1965) 所提出之公式 (1)。

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad \dots\dots\dots (1)$$

λ 為地表漫地流流長 (m)

m 隨著坡地的坡度而改變

d. 坡度因子 (S)

計算各網格之平均坡度 (θ)，再以 Wischmeier and Smith (1978) 所提出之坡度因子公式 (2) 求算之。

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065 \quad \dots\dots\dots (2)$$

θ ：坡度。

e. 覆蓋與管理因子 (C)

因綠色植物具有吸收藍光、紅光以及強烈反射紅外光之特性，可應用於多譜資訊於植物資源之探測。因此，利用可見光與近紅外光之比值或差值，可得常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，如下式 (3)：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中，NIR：近紅外光反射值；R：紅光

反射值。

由於台灣地區之 C 值尚無資料庫可利用，因此採用林文賜 (2002) 提出之常態化差異植生指標經線性反向配置，如下式 (4)。進行推求後分布如圖 8、9 所示。顏色越深處，代表植被情況越良好，顏色越淡則反之。

$$C = \left(\frac{1 - NDVI}{2} \right)^{1 + NDVI} \quad \dots\dots\dots (4)$$

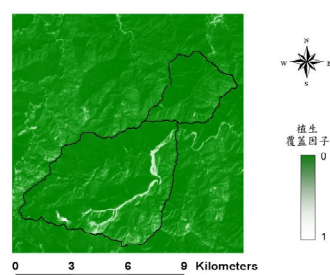


圖 8. 2001/03/14 植生覆蓋指數分布圖

Figure 8. Spatial distribution for vegetation covering factor. (2001/03/14)

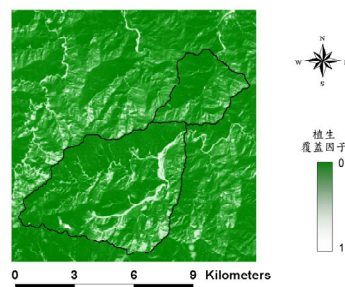


圖 9. 2004/02/21 植生覆蓋指數分布圖

Figure 9. Spatial distribution for vegetation covering factor. (2004/02/21)

f. 水土保持處理因子 (P)

水土保持處理因子係假設集水區在無水土保持處理之情形下，設定其值為 1。

(2) 泥砂遞移率 (SDR) 分析

坡面泥砂產量係由沖蝕傳輸至下游出口者，與土壤流失量不同，故需考慮泥砂遞移率。為簡易計算坡面泥砂遞移率，假設坡面

泥砂主要係由坡面地表水所帶動，運移至渠道（常流水）而流失，所以集水區坡面上任一格點之泥砂遞移率假設為流入該格點上游面積與流經該格點之總面積的比值（圖 10）。經分析得試區泥砂遞移率分布如圖 11 所示，越靠近河道顏色越深，代表遞移的機率較高，顏色越淺則反之。而坡面泥砂產量（ Y_s ）可由集水區坡面土壤流失量（ A_m ）與坡面泥砂遞移率（SDR）之乘積（ $Y_s=A_m \times SDR$ ）予以推算。

但因單場暴雨（single event）之雨量將會影響每次泥砂的運移量，故將雨量影響關係納入，可得下式（5）。

$$ST_{slope} = A_m \times SDR \times \frac{P}{P_t} \dots\dots\dots (5)$$

式中， ST_{slope} ：坡面泥砂產量； P ：單場降雨量（mm）； P_t ：年平均降雨量（mm）。

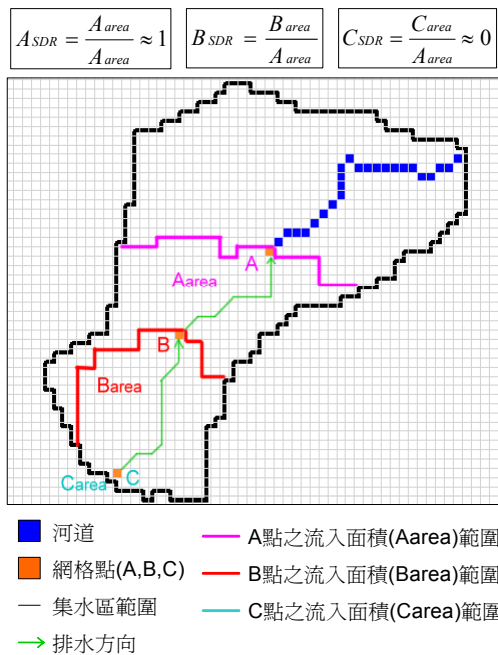


圖 10. 泥砂遞移率示意圖

Figure 10. Illustration of calculated SDR for each grid on the watershed.

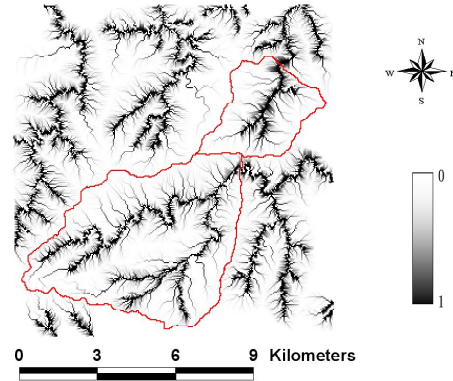


圖 11. 研究區泥砂遞移率分布圖

Figure 11. Spatial distribution of sediment delivery ratio.

2.崩場地泥砂產量推估

利用前後期 SPOT 衛星影像之常態化差異植生指標，經線性反轉標準化後，萃取新增崩塌區位（圖 12）。再採用 Khazai and Sitar 針對集水區內崩場地進行評估時，可依照不同的坡度範圍給定崩塌平均深度為基準（表 9），進行崩場地泥砂遞移量之計算。而崩場地泥砂產量經由河道遞移至保全對象而影響之，其路徑與公式如圖 13 所示，輸砂通式可寫成：

$$ST_{landslide} = V_l (C_{SDR}) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\gamma \left(\frac{P}{P_t} \right) \dots\dots (6)$$

式中， $ST_{landslide}$ ：崩場地泥砂產量； V_l ：崩塌體積（ m^3 ）； A_a ：鄰近保全對象河道之集水區面積（ha）； A_c ：c 點之集水區面積（ha）； C_{SDR} ：C 點泥砂遞移率，即 A_c/A_b ； P ：單場降雨量（mm）； P_t ：年平均降雨量（mm）； γ ：輸砂衰減係數。

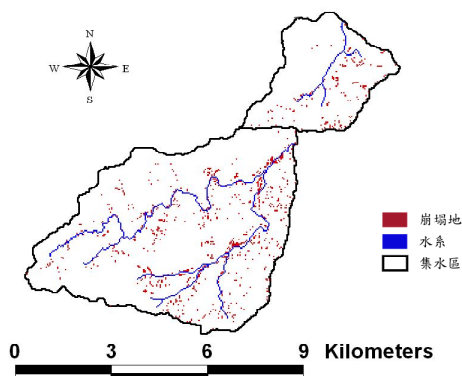


圖 12. 研究區崩塌地分布圖

Figure 12. Spatial distribution of denudation site.

表 9. 坡度與崩塌平均深度對照表

Table 9. The average depth on the slope of the denudation site.

坡面坡度 (度)	崩塌平均深度
0-30	2m
30-40	1.5m
40-60	1m
>60	0.5m

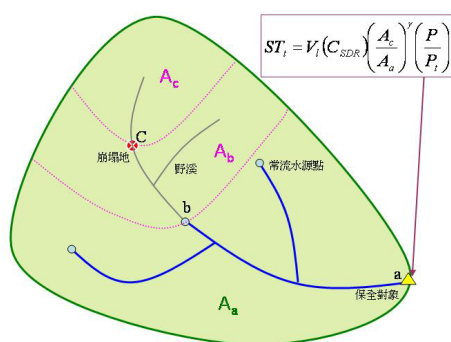


圖 13. 集水區崩塌地泥砂遞移量示意圖

Figure 13. Illustration of the sediment yield delivery on the watershed.

3. 總泥砂產量推估

集水區泥砂來自坡面與崩場地，故合併坡面泥砂產量及崩場地泥砂產量，以推估集水區總泥砂產量為 $ST = ST_{\text{slope}} + ST_{\text{landslide}}$ 。

(二) 流量歷線模擬

採用林昭遠等 (2004) 提出之降雨-逕流模式，係以等集流時間之概念，計算河道各點之集流時間，並建立其與出口之時間差，配合即時降雨資料及合理化公式-流量歷線修正式動態推估監測站之流量歷線。

1. 集流時間之計算

集流時間之定義為集水區最遠點的雨水到達集水區出口的時間，一般為流入 (漫地流) 時間及流下 (渠道流) 時間之和。而流入時間 (t_0 ，單位：小時) 之估算採用坡面長度除以漫地流速度，因此坡面長度係由集水區最遠端流至河道之距離，而漫地流流速一般在 0.3~0.6 m/s。流下時間 (t' ，單位：小時) 為雨水流經河道由上游至出口所需時間，依 Rziha 公式計算 (7、8)，即

$$t' = \frac{l}{w} \quad (7)$$

$$w = 72 \left(\frac{h}{l} \right)^{0.6} \quad (8)$$

式中， w 為流下速度 (km/hr)； l 為河道長度 (km)； h 為河道縱斷面平均高程 (km)

2. 等集流時間線

集流時間均分為每時間單位後，將集水區內具有相同匯流 (至出口) 時間之點連接，則每一集流時間線可劃分集水區為許多區域，假設區域內為均勻降雨，可知每塊區域之集流時間均相等。本研究以每小時為單位，即每一集流時間線的時間間隔為 1 小時，則每小時產生的逕流量估算如下：

$$\begin{aligned} t=1, \quad Q_1 &= C_1 I_1 A_1 \\ t=2, \quad Q_2 &= C_1 I_1 A_2 + C_2 I_2 A_1 \\ t=3, \quad Q_3 &= C_1 I_1 A_3 + C_2 I_2 A_2 + C_3 I_3 A_1 \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$t=n, \quad Q_n = \sum_{i=1}^n C_i I_i A_{n-i+1}$$

式中， t 為每一時間間隔； Q 為逕流量； C 為逕流係數； I 為降雨強度； A 為每一集流時間線至匯流點之集水區面積。

3. 初始逕流係數

由於 NDVI 之值域介於 -1 至 1 之間，為配合逕流係數之合理值域 (0~1)，即當土壤狀況愈不良，植生量愈低，所對應的逕流係數愈大的條件下，將 NDVI 線性反向配置為初始逕流係數，其公式為

$$C_0 = (1 - NDVI) / 2$$

4. 逕流係數之動態模式

逕流係數實際上與時空之變動有關可由下式 (9) 得知：

$$C = \frac{R}{P} = \frac{(P - I')/t}{P/t} = \frac{I - f}{I} = F(I, f) \quad \dots (9)$$

式中， R ：逕流量； P ：降雨量； I' ：入滲量； t ：降雨延時； I ：降雨強度； f ：入滲率。

逕流係數與降雨強度和入滲率有關，影響入滲之因子繁多且彼此互為因果，無法於現地逐一量測。以常態化差異植生指標 (NDVI) 建置集水區逕流係數之動態模式，一方面因 NDVI 量測的植生生長狀況可間接反應集水區內入滲量的變化。

配合即時雨量及合理化公式-流量歷線修正式，可動態計算集水區之流量歷線。式中之逕流係數與集水區之土地利用型態有關，為迅速推求逕流係數，本研究以 Horton 入滲公式 (10) 之概念為基礎 (圖 14)：

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad \dots\dots (10)$$

式中， f 為入滲率； t 為降雨時間； f_c 為穩定狀態後的入滲率； f_0 為最初入滲率； k 為衰減常數。

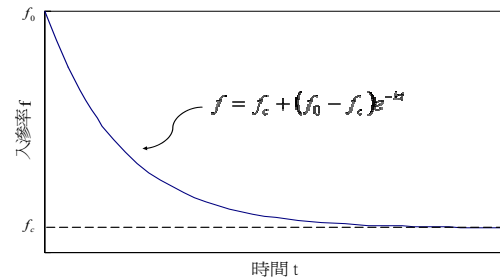


圖 14. 入滲曲線圖

Figure 14. Illustration of infiltration curve.

在降雨初期時，土壤之入滲能力高，隨降雨時間增長，土壤之入滲能力逐漸下降，逕流係數則隨降雨時間增長而變大，兩者之關係可加入時間 (t) 因子，基於此假說，假設 C 值於暴雨期間之變化，其與降雨延時之關係，與入滲曲線圖相似，亦為指數函數，惟其係隨降雨持續時間而遞增，代入起始條件， $t=0$ 時 $C=0$ ，以及邊界條件， $t \approx \infty$ 時 $C \approx 1$ ，建置逕流係數隨時間變化之動態模式如下式 (11)：

$$C = 1 - e^{-C_0 t} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中， C 為逕流係數； C_0 為初始逕流係數； t 為降雨時間。

由圖 15 可知不同的初始逕流係數值，隨時間變化的曲率也不同，初始值愈大，逕流係數變動曲線愈陡峭，即地表植生覆蓋愈差，入滲愈差，逕流係數愈快速趨於一定值 ($C=1$)，降雨所產生之地表逕流量也愈快速排出。

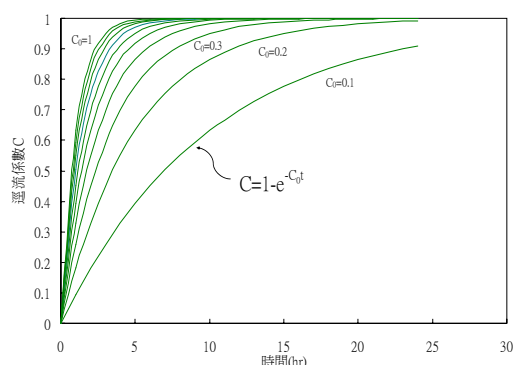


圖 15. 逕流係數變動模式曲線圖

Figure 15. The time varying runoff coefficient C.

5.校正係數 α 與 β

然而，模式的模擬並無法與實測完全吻合，故需要校正係數使模擬更達完美，針對洪峰到達時間及洪峰值給予校正係數，分別為 α 與 β 。

結果與討論

一、集水區泥砂推估

(一) 坡面泥砂產量

利用衛星影像及 DEM 資料，以通用土壤流失公式 (USLE) 及坡面泥砂遞移率 (SDR) 分別計算各時期集水區的年泥砂產量如表 10。所計算的各時期年泥砂產量，代表著在當時的季節、氣候條件下的泥砂產量，為了能夠客觀的表達集水區之坡面泥砂產量，故將各時期的年泥砂產量取一平均值，以作為在集水區內一年的年平均泥砂產量 (表 11)。南澳北溪上游集水區年平均泥砂產量約為 147,045.25m³/yr，而番社坑溪集水區之年平均泥砂產量則大約為 13,746.71m³/yr；集水區之坡面平均沖刷深度分別為：南澳北溪上游集水區 0.40cm/yr，番社坑溪集水區 0.13cm/yr。而單場暴雨所造成之坡面泥砂產量如表 12 所列。

表 10. 試區累積沖蝕量與沖蝕深度表

Table 10. Sediment yield and erosion depth of the studied watersheds.

集水區	2001.03.14		2004.02.21	
	累積沖蝕量 (m ³ /yr)	沖蝕深度 (cm/yr)	累積沖蝕量 (m ³ /yr)	沖蝕深度 (cm/yr)
南澳北溪上游	117,950.5	0.32	176,140	0.47
番社坑溪	8,743.21	0.08	18,750.21	0.17

表 11. 平均累積沖蝕量與平均沖蝕深度表

Table 11. The average sediment yield and erosion depth of the studied watersheds.

	平均累積沖蝕量 (m ³ /yr)	平均沖蝕深度 (cm/yr)
南澳北溪上游	14,7045.25±29,094.75	0.40±0.08
番社坑溪	13,746.71±5,003.5	0.13±0.05

表 12. 單場暴雨坡面泥砂產量

Table 12. sediment yields from slopeland of single event.

事件	P (mm)	南澳北溪上游 坡面泥砂產量 (m ³)	P (mm)	番社坑溪 坡面泥砂產量 (m ³)
桃芝 (2001/7/30)	248	7,111.09	278.5	664.79
尤特 (2001/7/4)	306	9,373.41	388	876.29
2001/6/7	165.5	4,389.56	159.5	410.36
2001/5/28	400.5	10,926.64	408.5	1,021.49
西碼隆 (2001/5/11)	351	9,312.63	338.5	763.28
象神 (2000/10/29)	787.5	21,252.24	786	1,986.80

駐：Pt 為 5443.55mm

(二) 崩塌地泥砂遞移量

在崩塌量 (表 13) 方面，利用前後期衛星影像 (2001/03/14 及 2004/02/21) 萃取之崩塌地分布，配合崩塌平均深度，而推算出南澳北溪上游集水區其為 2,317,090 m³，番社坑

溪為 502,560 m³。經由崩塌地輸砂通式可求得不同降雨造成之崩塌地泥砂產量，其結果如表 14 所列，而在本研究中基於安全考量，假設 γ 衰減係數為 0。

表 13. 集水區崩塌地數量統計表

Table 13. The statistics summaries of the landslides.

集水區	崩塌地面積 (ha)	崩塌地斜面面積 (ha)	崩塌量 (m ³)	平均崩塌深度 (m)
南澳北溪上游	126.24	149.97	2,317,090	1.55
番社坑溪	26.88	32.40	502,560	1.55

表 14. 單場暴雨崩塌地泥砂產量

Table 14. sediment yields from landslide of single event.

事件	崩塌地泥砂遞移量 (m ³)	
	南澳北溪上游	番社坑溪
桃芝 (2001/7/30)	5,663.25	858.80
尤特 (2001/7/4)	7,464.95	1,132.01
2001/6/7	3,495.83	530.12
2001/5/28	8,701.94	1,319.59
西碼隆 (2001/5/11)	7,416.54	986.03
象神 (2000/10/29)	16,925.21	2,566.60

集水區泥砂來源，來自坡面與崩場地。因此，結合上述之坡面泥砂產量與崩場地泥砂產量之推估，即可算出集水區泥砂產量。在本研究中由 1979~2002 年之山腳雨量站以及 1953~2002 年古魯雨量站之資料得知，在

大南澳地區之年平均雨量約為 5,443.55mm。由表 15 分別可看出兩集水區在每場降雨產生之坡面泥砂遞移量、崩場地之遞移量及集水區泥砂產量。

表 15. 推估集水區泥砂產量統計表

Table 15. Estimations of sediment yields at watersheds.

事件	南澳北溪上游集水區			番社坑溪集水區		
	坡面泥砂 產量 (m^3)	崩場地泥 砂產量 (m^3)	集水區泥 砂產量 (m^3)	坡面泥砂 產量 (m^3)	崩場地泥 砂產量 (m^3)	集水區泥 砂產量 (m^3)
	ϕ	ϕ	$\phi + \phi$	ϕ	ϕ	$\phi + \phi$
桃芝 (2001/7/30)	7,111.09	5,663.25	12,774.34	664.79	858.80	1,523.59
尤特 (2001/7/4)	9,373.41	7,464.95	16,838.36	876.29	1,132.01	2,008.30
2001/6/7	4,389.56	3,495.83	7,885.39	410.36	530.12	940.48
2001/5/28	10,926.64	8,701.94	19,628.58	1,021.49	1,319.59	2,341.08
西碼隆 (2001/5/11)	9,312.63	7,416.54	16,729.17	763.28	986.03	1,749.31
象神 (2000/10/29)	21,252.24	16,925.21	38,177.45	1,986.80	2,566.60	4,553.40

二、逕流歷線模擬

選取桃芝颱風、尤特颱風、2001/6/7 降雨、2001/5/28 降雨、西碼隆 (2001/5/11)、象神颱風等降雨事件分別模擬，以山腳及古魯流量站之實測資料為基準，針對洪峰到達時間及洪峰值加以校正，結果分別如圖 16~圖 26。

集流時間與集水區之地文因子及降雨特性有關，一般公式只考慮集水區之地文因子，故假設每一場暴雨之集流時間均相等，實際上，降雨強度增大，流速增加，集流時間亦會跟著變小，因此集流時間會隨著降雨強度而變化，具有時變性，造成模擬時到達洪峰時間的誤差，此誤差必須經由集流時間

之校正，乘上一校正係數 α ，修正洪峰到達時間與洪峰值，進而反映集水區地文特性，以顯示集水區對於該場降雨涵養水源的能力。由模擬結果可知 α 普遍偏大，因集水區內主要為林班地，植生良好，故涵養水源能力佳，導致實測洪峰在推估洪峰後出現。

β 校正係數為洪峰流量之校正， β 越高，表示模式所推算之洪峰流量遠小於實測流量， β 越低則反之，故需加以調整修正。由於一般水文模式所推算之流量皆為清水流，且河道流量資料多由水位率定而得，若水流中夾砂量愈高，則對模式所推算之流量（水位）與實測資料造成影響。故 β 可顯示含砂水流之含砂濃度，為河道輸砂之重要指標。因此，

在本研究中將找出 β 與集水區泥砂之回歸方程式，若兩者相關性高，日後則可利用降雨逕流模式之校正係數 β 推估集水區之泥砂產量，以提供另一簡便推估泥砂產量之方法，其結果如圖 27、28 所示，而由於在番社坑溪集水區尤特颱風之流量歷線模擬中， α 過大為極端值，故迴歸時將此資料刪除。得到南澳北溪上游集水區 β 與集水區泥砂產量之迴歸

式為 $\hat{y} = 84853\beta + 3398.7$ ，番社坑溪為 $\hat{y} = 10303\beta + 387.62$ 。在南澳北溪上游集水區中，相關性高，決定係數 R^2 達 0.9206，但在番社坑溪集水區中之決定係數 R^2 僅有 0.2133，可能是 β 過小，均介於 0.08-0.24 之間，代表水流中含砂量低，因此對集水區泥砂產量的多寡不敏感而導致。

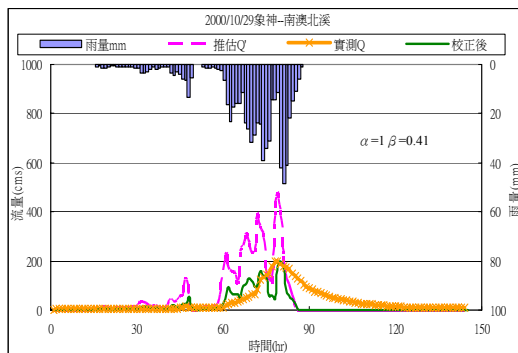


圖 16. 象神颱風演算結果

Figure 16. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon XANGSANE.

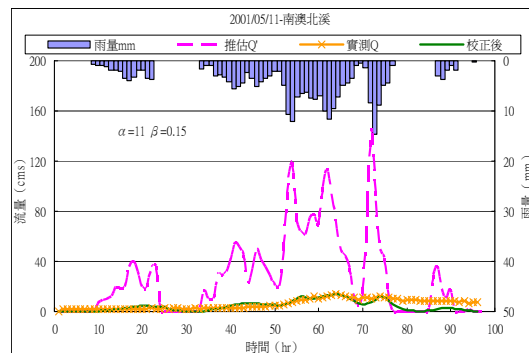


圖 17. 西碼隆颱風演算結果

Figure 17. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon CIMARON.

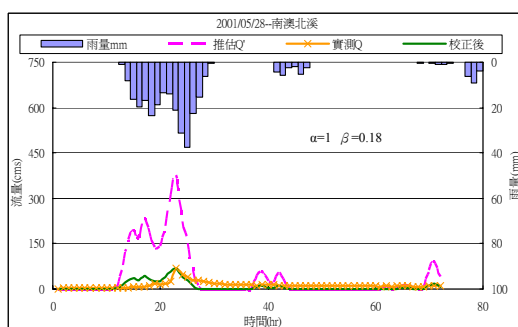


圖 18. 2001/5/28 暴雨演算結果-山腳站

Figure 18. Simulation of runoff hydrograph for the Storm. 2001/5/28

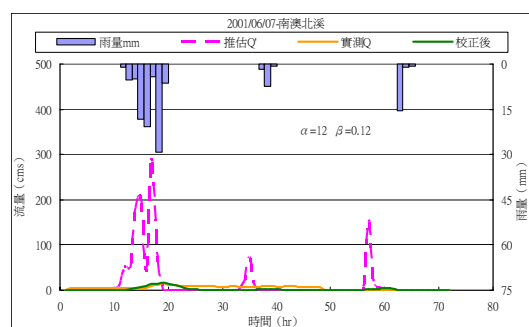


圖 19. 2001/6/7 暴雨演算結果

Figure 19. Simulation of runoff hydrograph for the Storm. 2001/6/7

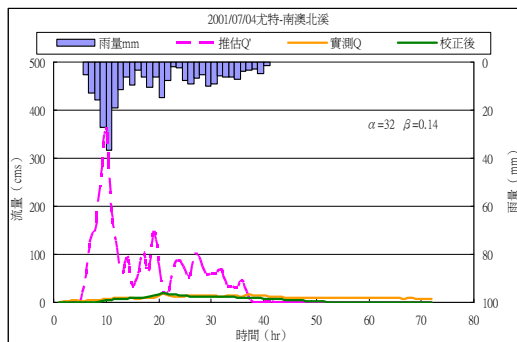


圖 20. 尤特颱風演算結果

Figure 20. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon UTOR.

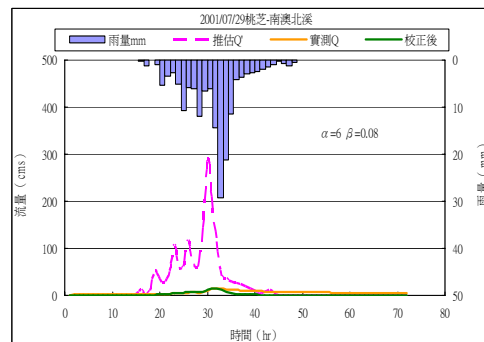


圖 21. 桃芝颱風演算結果

Figure 21. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon TORAJI.

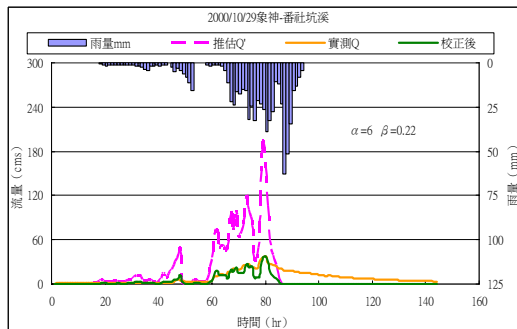


圖 22. 象神颱風演算結果

Figure 22. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon XANGSANE.

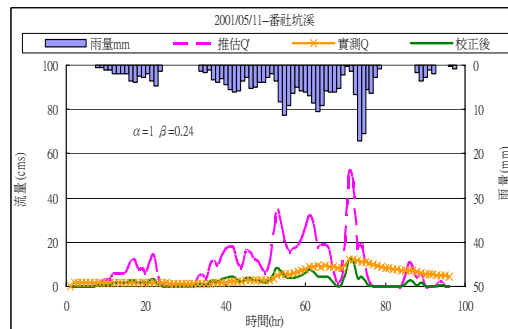


圖 23. 西碼隆颱風演算結果

Figure 23. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon CIMARON.

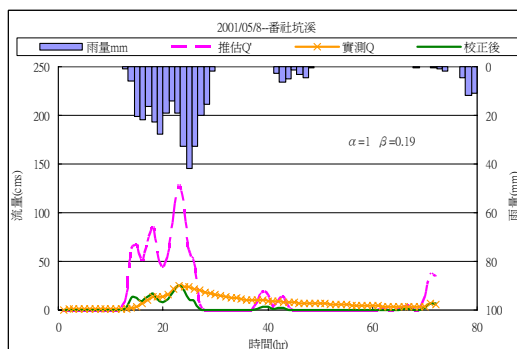


圖 24. 2001/5/28 暴雨演算結果-山腳站

Figure 24. Simulation of runoff hydrograph for the Storm. 2001/5/28

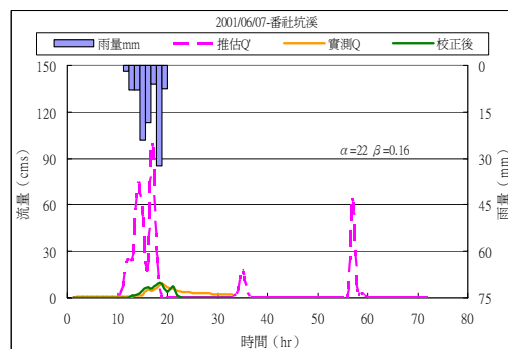


圖 25. 2001/6/7 暴雨演算結果

Figure 25. Simulation of runoff hydrograph for the Storm. 2001/6/7

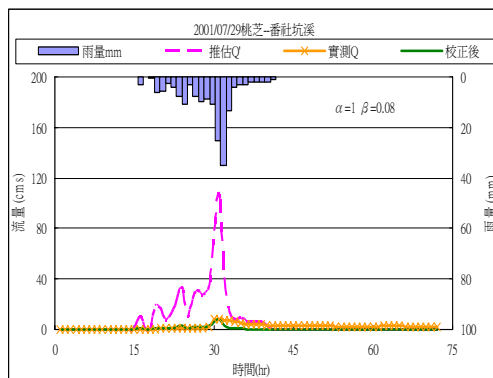


圖 26. 桃芝颱風演算結果

Figure 26. Simulation of runoff hydrograph for the Typhoon TORAJI.

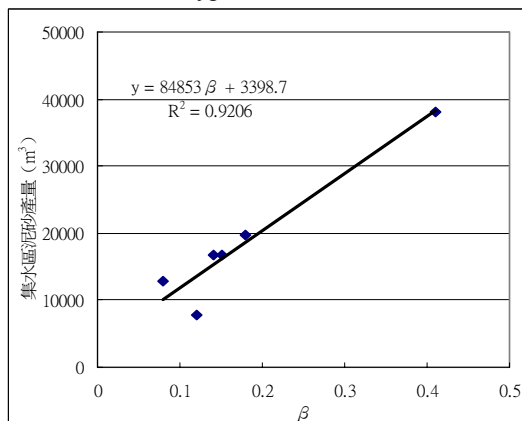


圖 27. 南澳北溪集水區泥砂產量與 β 關係圖

Figure 27. Relationship between sediment yields and β value in Nan-Ao-Bei Creek watershed.

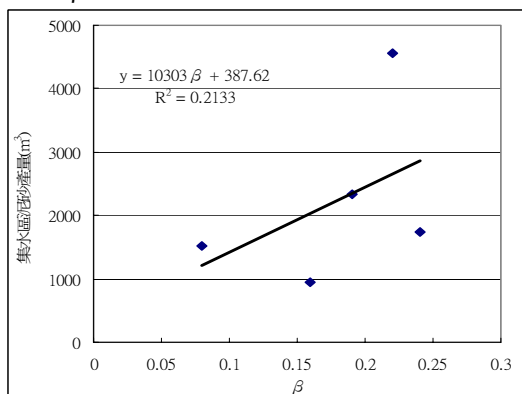


圖 28. 番社坑溪集水區泥砂產量與 β 關係圖

Figure 28. Relationship between sediment yields and β value in fan - she - keng Creek watershed.

結論

在本研究中，提供了集水區泥砂產量的推估方法以及 β 與集水區泥砂產量之迴歸方程式。雖然結果顯示在南澳北溪上游集水區 β 與集水區泥砂產量相關性高，番社坑溪相關性較低，但若能以長期的角度來探討，則更具有代表性及客觀性。且在推估過程中有許多參數的假設，若能以現地情況作更合理之判斷，對集水區泥砂產量之推估一定有所幫助，以減少誤差增加準確性。而將集水區的泥砂資訊量化分析，盼能在坡地之泥砂災害或集水區水庫泥砂淤積的推估上有所貢獻，以作為集水區經營管理的參考。

參考文獻

1. 行政院農業委員會（2003），水土保持技術規範第 35 條。
2. 林佳鋒（2001），「森林集水區泥砂沖蝕來源之研究」，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
3. 林昭遠、林文賜（1999），集水區坡長因子自動萃取之研究，中華水土保持學報，30（3）：pp.183-196。
4. 林昭遠、林文賜（2000），「集水區地文水文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31（3）：pp.247-256。
5. 林昭遠（2004），桃園縣水土保持工作對石門水庫集水區之影響報告。
6. 林文賜（2002），「水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究」，國立中興大學水土保持學系研究所博士論文。
7. 林昭遠、林鶴儒、劉昌文（2004），「陳有蘭溪集水區降雨-逕流模式動態分布系統建置之研究」，水土保持學報，36（3）：pp.243-258。

水土保持學報 37(4)：363-378 (2005)

Journal of Soil and Water Conservation, 37(4)：363-378 (2005)

8. 黃俊德 (1979)，台灣降雨沖蝕指數的研究，中華水土保持學報，10 (1)：pp.127-144。
 9. 萬鑫森、黃俊義 (1989)，台灣坡地土壤沖蝕，中華水土保持學報，20 (1)：pp.17-45。
 10. 歐陽元淳 (2003)，水庫集水區土壤沖蝕之研究-以石門、翡翠水庫為例，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
 11. Khazai, B., and Sitar, N. (2000) Companion website for landslides in Native Ground : A GIS-Based Approach to Regional Seismic Stability Slope Stability Assessment, <http://www2.ced.berkeley.edu:8002/index2.html> [2002, March 20].
 12. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1965)，cropland east of the Rocky Mountains – Guide Predicting rainfall erosion losses from for selection of practices for soil and water conservation, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook NO. 282.
 13. Wischmeier, W. H., and Smith, D. D. (1978)，Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 537.
-

94 年 10 月 16 日 收稿

94 年 11 月 19 日 修改

94 年 12 月 01 日 接受