

通用土壤流失公式(USLE)地形因子(LS)計算方式之探討

廖靜慧⁽¹⁾ 林俐玲⁽²⁾

摘要

本研究目的為瞭解水土保持計畫中，地形因子(LS)對推估土壤流失量之影響。資料來源乃以 20 件樣區作分析，收集樣區中之坡長及坡度因子數值作為 LS 值之原始數據，針對不同條件下，再將 LS 值經過重新分段計算後之數據相互比較，結果發現：1.當坡長 100m 以上及 100m 以下且呈規則地形時，可用單一坡長公式計算，2.當坡長小於 100m 以下且呈不規則地形時，亦適用一般坡長公式計算，3.當坡長大於 100m 呈不規則地形時，坡度 30%以上之土壤已達穩定情形狀況下，此坡長可不列入計算，適用以複合坡公式採分段計算求得較合理之 LS 值。

(**關鍵詞**：土壤流失量、地形因子、複合坡公式)

Investigation of calculation methods for LS factors in USLE

Jing-Huei Liao⁽¹⁾ *Li-Ling Lin*⁽²⁾

Graduate Student⁽¹⁾ Professor⁽²⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

The purpose of this study was to understand the influence of slope length and slope factors for estimating soil loss. The data sources are based on 20 plots for analysis. The original slope length and slope factors in 20 soil and water conservation plans were collected and then compared with different calculated methods. Under different conditions the results indicated that: (1) when the slope length is more or less than 100m and with uniform slope, which is suitable applying single slope length formula, (2) when the slope length is less than 100m with irregular slope, is also applicable to the general slope length formula, and (3) when

(1)國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

(2)國立中興大學水土保持學系教授(通訊作者 e-mail : lllin@dragon.nchu.edu.tw)

the slope length is more than 100m and with irregular terrain, and supposed that soil on the slope more than 30% is in stable condition, the composite slope formula should be applied, which will give more reasonable LS values.

(**Keywords** : Soil loss, Terrain factor, Composite slope formula)

前言

台灣本島為南北呈狹長型且地形陡峭，山坡地逐漸被開發利用，土壤流失問題亦浮出，因地形受限，在未有水土保持維護情形下，水與土便往較低之平地流動，使水土資源有不斷流失現象之外，亦造成災害頻傳，政府於民國 83 年 5 月公布水土保持法，位於山坡地之開發均需做水土保持計畫，以減低開發行為對環境造成衝擊或產生水土流失等災害，降低土砂造成嚴重沖刷，使土壤流失量降至一定範圍值內。

土壤沖蝕計算方式有 USLE、RUSLE、AGNPS 等模式，本研究以山坡地之水土保持計畫中，常採用以通用土壤流失公式 (Universal Soil Loss Equation, USLE) 做為土壤流失量估算之方法。土壤流失量估算手冊在 1996 年出版後，至今被廣用於各學術方面及水土保持計畫等。有關水土保持計畫中之土壤流失量估算，相關因子為降雨沖蝕指數 (Rm)、土壤沖蝕指數 (Km)、坡長因子 (L)、坡度因子 (S)、覆蓋與管理因子 (C)、水土保持處理因子 (P)，結合以上各因子，估算出土壤流失量。

通用土壤流失公式，應用於大範圍之集水區時，其坡長太大，建議應將其分區計算，各分區之坡長以不超過 120 公尺為原則，坡度太陡 (超過 30%) 會有高估之狀況，最適用

之坡度為 3~18%。又坡面不均勻時，LS 因子應加以修正或分段計算 (林俐玲，2010)，陡坡地的坡長因子並不如通用土壤流失公式的 $(\lambda / 22.13)^{0.5}$ ，而是當坡度為 40% 時坡長因子應採用 $(\lambda / 22.13)^{1.02}$ ，坡度為 60% 時則採用 $(\lambda / 22.13)^{1.27}$ (吳嘉俊、黃俊德，1996)，土壤流失量有隨著坡度上升而增加的趨勢，而在坡度 15% 以後有急速增加之現象 (蘇瑋哲，1997)，坡長因子不經由 GIS 分析提供使用者使用，而需使用者經由現地量測後，輸入開發區域之代表坡長，以減少誤差 (林昭遠、林文賜，1999)。

每件水土保持計畫，均以通用土壤流失公式 (USLE) 計算出土壤流失量，並依水土保持技術規範第 35 條之規定，求得泥砂生產量，依照規定設計符合計畫區之沉砂設施。USLE 中之坡長因子之計算常用一般計畫區最長距離作為坡長計算，如此往往會超過 100m 之坡長限制；此時應採複合坡公式計算，本研究之目的在探討做水土保持計畫時，依照相關條件求得之代表坡長，依據不同地形評估出最適合的坡長計算方式。

研究材料與方法

一、研究區域位置

本研究蒐集歷年 20 件水土保持計畫核定本資料，其計畫面積達 1 公頃以上共 9 件，未達一公頃以上共 11 件，其樣區位置及面積

如表 1 所示：

表 1 20 件樣區位置及面積
Table 1 Location and area of 20 samples

編號	計畫位置	面積(ha)	編號	計畫位置	面積(ha)
1	嘉義縣阿里山鄉	0.8797	11	台南市東山區	1.3011
2	嘉義縣阿里山鄉	0.8348	12	台南市左鎮區	9.6699
3	臺中市潭子區	0.9731	13	高雄市田寮區	8.8978
4	南投縣水里鄉	0.9535	14	屏東縣恆春鎮	1.6959
5	屏東縣恆春鎮	0.0926	15	台南市龍崎區	6.3495
6	南投縣草屯鎮	0.7180	16	彰化縣員林鎮	4.0730
7	台東縣綠島鄉	0.9579	17	台東縣卑南鄉	5.3328
8	新北市樹林區	0.8886	18	台中市太平區	0.8555
9	彰化縣芬園鄉	0.9043	19	高雄市鳥松區	1.8828
10	高雄市甲仙區	1.1175	20	台南市大內區	0.5651

二、研究項目與方法

在推估土壤流失量時，降雨沖蝕指數(Rm)、土壤沖蝕指數(Km)值、覆蓋及管理因子(C)值及水土保持處理因子(P)值之數據，皆採用原水土保持計畫中數值，本研究主要探討土壤流失量之坡長因子及坡度因子，依據每件水土保持計畫之水土保持設施配置圖重新取得坡長值，坡長值計算公式以三種方式決定：

1. 坡面長度 100m 以上及 100m 以下且呈規則地形：採用一般坡長公式
2. 坡面長度 100m 以下且呈不規則地形：採用複合坡公式
3. 坡面長度大於 100m 以上呈不規則地形：採用複合坡公式。

坡長因子(L)為水平投影長之坡地土壤沖蝕量與位處於相同降雨、土壤、坡度及地表狀況，但水平投影長為 22.13m 之坡地土壤沖蝕量之比值(Wischmeier and Smith, 1965)。坡長因子公式：

$$\text{一般坡長公式：} L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

λ ：坡地之水平投影長(單位為 m)；

m ：隨著坡地之坡度而改變。

Wischmeier and Smith (1978)指出，當坡地坡度小於 1% (0.57°)時， $m=0.2$ ；當坡度介於 1% (0.57°)與 3% (1.72°)之間時， $m=0.3$ ，當坡地介於 3% (1.72°)與 5% (2.86°)之間時， $m=0.4$ ；而當坡地坡度大於 5% (2.86°)時， $m=0.5$ 。

複合坡公式：

$$\sum_{j=1}^n SLC_j = \sum_{j=1}^n \frac{S_j L_j^{m+1} - S_j L_{j-1}^{m+1}}{22.13^m}$$

得 LS 值 = $\sum_{j=1}^n SLC_j / Le$

(Le:開發後代表坡長)

坡度因子公式：

$$S = 65.4\sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.065$$

θ = 坡地之坡度(單位為°)

吳嘉俊、黃俊德等(1996)經由室外土壤沖蝕量的量測，受測試區的坡度包含 40%及 60%，而受測的坡長則包含 5m、10m、15m、20m、22.13m 及 30m 等，經由研究結果發現，陡坡地的坡長因子並不如通用土壤流失公式的 $(\lambda / 22.13)0.5$ ，而是當坡度為 40%時坡

長因子應採用 $(\lambda / 22.13)1.02$ ，坡度為 60%時則採用 $(\lambda / 22.13)1.27$ ，發現坡度 40%之坡長值大於土壤流失公式之坡長值 2 倍以上，且林俐玲(2010)指出坡度太陡(超過 30%)會有高估之狀況。為避免 LS 因子數據偏高，高估土壤流失量，建議坡度以不超過 30%之地形條件下進行研究分析。重新分析後求得之坡長及坡度值，將 20 件樣區中原始數據之 LS 值與分段計算之 LS 值，兩者數據做探討，瞭解於設計土壤流失量之坡長及坡度時，應以何種方式求得較合理之 LS 值。

三、研究流程

本研究之流程如圖 1 所示。

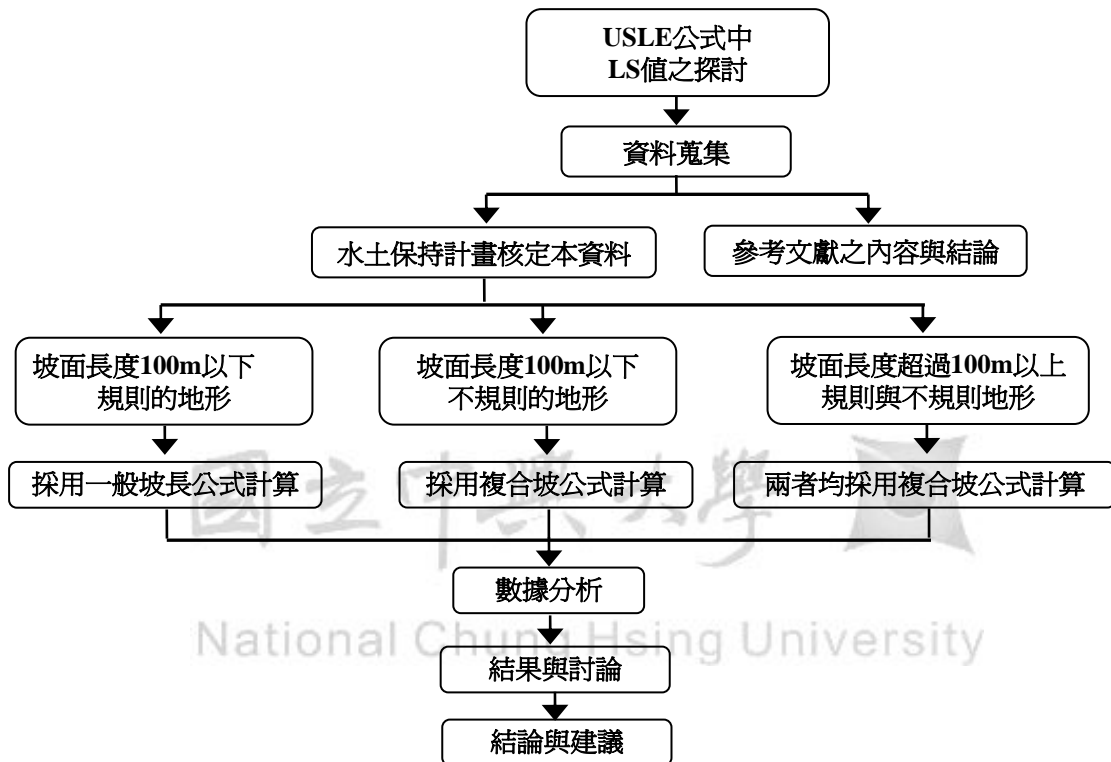


圖 1 研究方法流程圖

Figure 1 Flow chart of the study method

結果與討論

20 件樣區中，經統計水土保持計畫之開發面積大多為 1 公頃以下，以面積 1 公頃上下作區分，面積達 1 公頃以上共 9 件，未達一公頃以上共 11 件，結果如表 2，本研究原始數據之 LS 值均使用一般坡長及坡度所得之數據，將與分段計算後之數據作比較。

經過統計後，本研究依不同計算方式，其坡長超過 100m 以複合坡公式計算共 13 件，坡長未超過 100m 以複合坡公式計算共 1 件，坡長超過及未超過 100m 以一般坡長公式計算共計 6 件，可推測在進行水土保持計畫過程中，坡長超過 100m 以上的數量相當多，值得探討坡長之數據間接影響土壤流失量之多寡。

表 2. 面積以一公頃區分研究樣區
Table 2. The numbers of study area divided by
1 ha

面積 \ 件數	研究樣區
一公頃以上	9 件
一公頃以下	11 件

(一)坡面長度 100m 以下及 100m 以上且呈規則地形均採用一般坡長坡度公式，共計有 6 件。

20 件樣區經過初步整理，樣區編號 5、6、7、9、11 及 20 以一般坡長方式計算，由下表得知坡長值以分段計算數據值較大，僅樣區編號 20 數據為相同。

其中樣區編號 11 因地形及坡面走向不同限制分為 A、B 二區，所得數據與原始數

據比較後，差異值相當小。推判在坡面長度 100m 以上及 100m 以下，且坡度建議小於 30%情形下，所得 LS 值能於水土保持計畫中，作為參考依據。

(二)坡面長度 100m 以下不規則地形採用複合坡公式，共計有 1 件。

20 件樣區中，僅樣區編號 18 坡面長度 100m 以下且為不規則地形，可由下圖得知分段計算數據(3.62)較原始數據(1.72)大約 2 倍，原因為複合坡公式中，在地形起伏之變化情形下，會於數據中呈現，原始數據則取單一坡長及坡度求得情形下，屬於全區之平均值，而分段計算中，雖能詳細將變化情形呈現，但也可能高估穩定土壤之土壤沖蝕量，因此在此條件下建議以一般坡長計算；但因樣區取樣資料不足，無法將地形變化產生之影響呈現於數據上，未來將增加研究樣區進行更詳細之分析。

(三)坡面長度超過 100m 以上不規則地形採用複合坡公式，共計有 13 件。

20 件樣區中，坡面長度超過 100m 以上的不規則地形為樣區編號 1、2、3、4、8、10、12、13、14、15、16、17 及 19，共 13 件樣區，占本研究樣區 65%，結果判斷水土保持計畫中，大多數的坡面長度往往超過 100m。將 13 件樣區之地形因子代入 USLE 複合坡公式計算後，可由圖 6 及圖 7 中呈現出各樣區於一般坡長與複合坡計算後之差異性。

13 件樣區中，樣區編號 2、3、8、14、19 共 5 區之 LS 原始數據大於分段計算，樣區編號 1、4、10、12、13、16 及 17 共 8 區

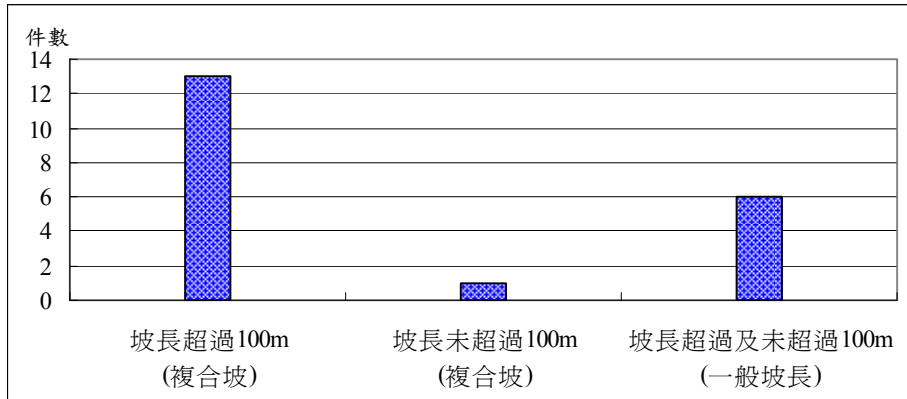


圖 3 LS 依不同計算方式之三項分類成果圖

Figure 3 LS according to the calculation of the three classification results

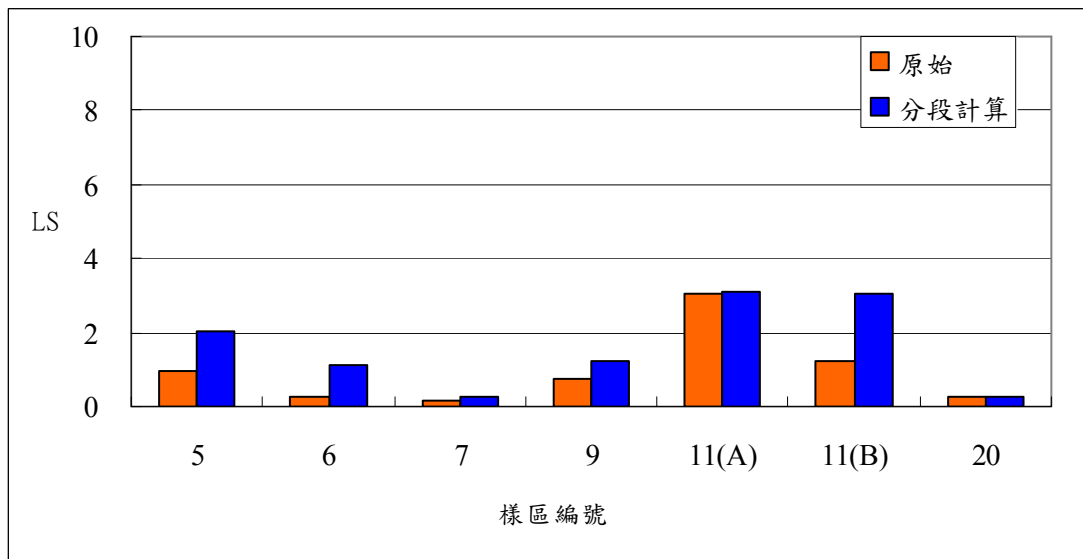


圖 4 樣區於坡面長度 100m 以下及以上呈規則地形之 LS 比較圖

Figure 4 The LS values of uniform slope which length are more or less than 100m

之 LS 分段計算大於原始數據，其中差別較大為樣區編號 3，兩者數據(原始 5.06:1.28)相差約 4 倍，探討得知因計畫本身雖為不規則地形，但地形相當平緩，經複合坡公式所得分段計算數據相較於一般坡長原始數據

小，因此建議採用複合坡公式計算。

因地形條件限制關係，再將樣區編號 12、13、15 及 19 分別計算坡長數據，樣區編號 12、13 均區分為甲、乙二區，兩者比較

結果為甲區(原始：分段計算=1.31：3.58)因地形較陡變化較大，分段計算數據大於原始數據、乙區(原始：分段計算=1.06：1.83)地形偏緩，但以分段計算數據偏高些；樣區編號 15 中(圖 7)，原始資料因地形條件分別區分為 A~G 七區，重新檢討後，區域坡度超過 40% 以上地形，不適合列入複合坡計算，因此將樣區編號 15 經分段計算得到 LS 為 1.46，與原始數據比較後，得知 A、B、D、F 四區於原始數據中將坡度陡峭區納入計算，導致數值過大，特別是 A、B 二區，整區範圍陡峭區坡度 30% 以上占 95%，建議不列入計算，否則間接造成土壤流失量過於高估之情況；樣區編號 19 區原始資料區分為 A、B 二區，重新檢討後，發現 B 區部分邊坡位屬陡峭區坡度大於 30%，故忽略不計，全區以

分段計算得到 LS 值為 5.74，降低 B 區高估之 LS 值。

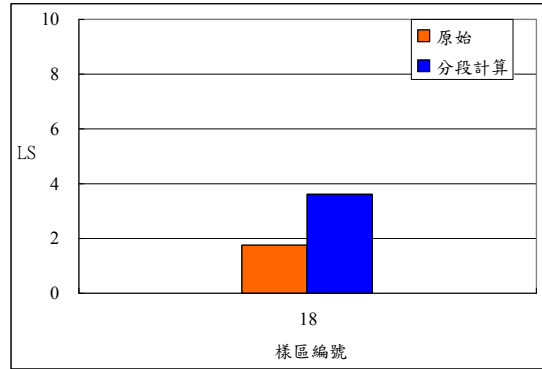


圖 5 樣區於坡面長度 100m 以下呈不規則地形之 LS 比較圖

Figure 5 LS value for irregular slope which length is less than 100m

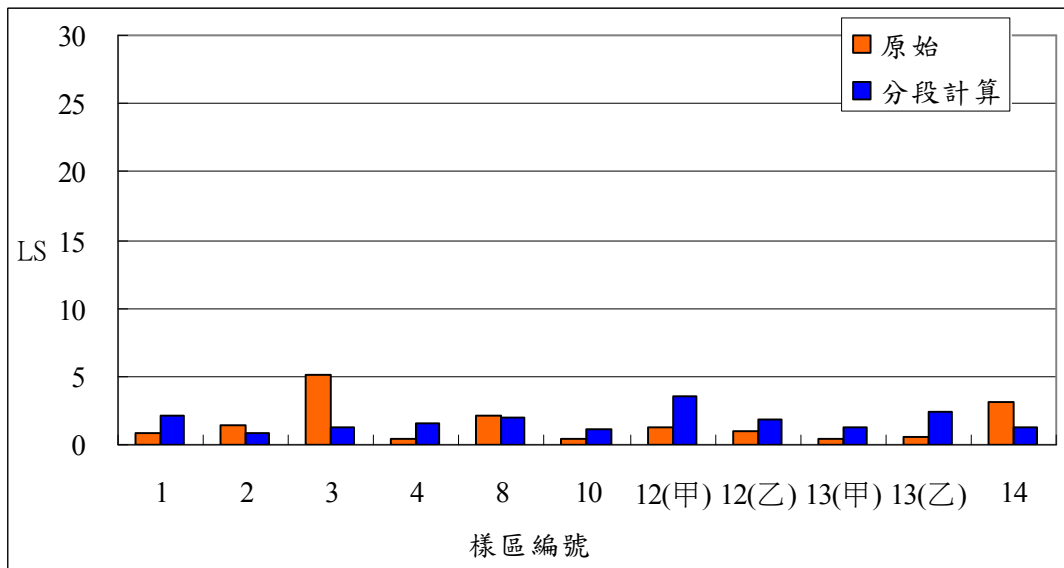


圖 6. 樣區於坡面長度 100m 以上呈不規則地形之 LS 比較圖(a)

Figure 6 LS values of irregular slope which length (a) are more than 100m

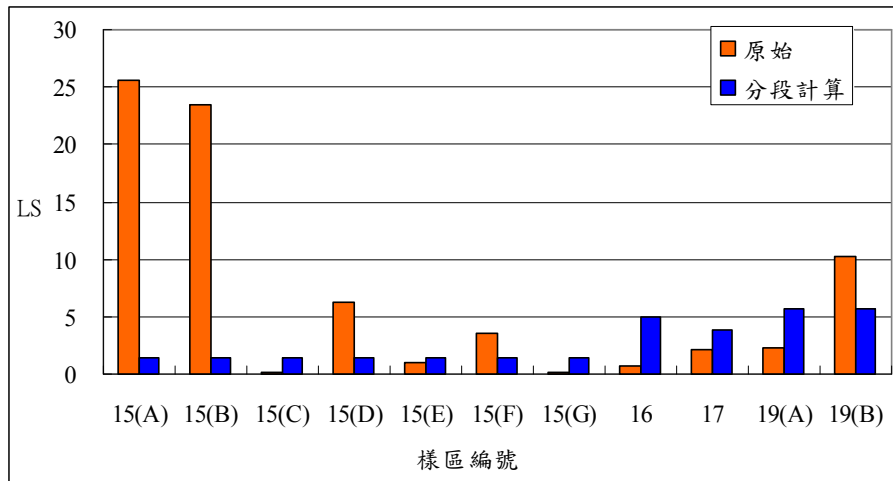


圖 7. 樣區於坡面長度 100m 以上呈不規則地形之 LS 比較圖(b)

Figure 7 LS values of irregular slope which length (b) are more than 100m

結論與建議

(一)結論

從原始數據和分段計算之 LS 值，經過 20 件樣區重新檢討所區分之三種分類中，水土保持計畫取決坡長值可依據不同條件決定坡長計算方式。當坡長 100m 以上及以下之均勻坡時，採用一般坡長公式條件下，原始及分段數據兩者數據相近，結果可推測出，一般坡長公式適用在坡長為均勻坡的條件下，數據之準確性較佳；當坡長 100m 以下呈不規則地形時，原始數據較小於分段計算數據，由於本項之樣區數據資料不夠充足，僅於此研究中建議使用單一坡長公式計算，未來將再做詳細之探討；當坡長 100m 以上呈不規則地形條件時，建議採用複合坡公式計算較佳，特別有陡峭區與緩坡區區分明顯，且坡度大於 30%以上之陡峭區建議不列入計算，得到 LS 值數據較為合理。

(二)建議

本研究階段僅於 USLE 之坡長及坡度因子探討，未來建議繼續從土壤流失量數據比較，探討於各樣區中之沉砂池面積，求得沉砂深度，比較之間之差異性；並可實際至樣區中抽樣，量測出實際沉砂深度，可驗證在水土保持計畫中所推估之土壤流失量與重新分段計算所得之數值比較。

參考文獻

1. 吳嘉俊、黃俊德(1996)，「陡坡地坡度坡長利用上限之研究(四)」，行政院農業委員會 85 年度研究報告，國立屏東技術學院水土保持系，屏東。
2. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲(1996)，土壤流失量估算手冊，屏東技術學院，第 71~80 頁，第 113~135 頁。
3. 吳輝龍(2005)，水土保持手冊，行政院

- 農業委員會水土保持局，南投。
4. 林俐玲(2010)，通用土壤流失公式(USLE)之應用與誤用，水保技術，第五卷，第二期，第 119-121 頁。
 5. 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，第三十一卷，第三期，第 247-311 頁。
 6. 蘇煒哲(1997)，坡度影響地表逕流與土壤沖蝕之探討，國立中興大學水土保持學系，碩士論文，台中。
 7. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1965), Predicting Rainfall-erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains, Agricultural Handbook 282, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.
 8. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978), Predicting Rainfall erosion losses, Agricultural Handbook 537, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.
-
- 101 年 06 月 11 日收稿
101 年 06 月 15 日修改
101 年 06 月 21 日接受

水土保持學報44(4) : 381 – 390 (2012)

Journal of Soil and Water Conservation , 44 (4) : 381 – 390 (2012)

