

## 土壤流失推估模式之應用與探討

林文英<sup>(1)</sup> 林俐玲<sup>(2)</sup>

### 摘要

土壤流失是造成土地資源耗損的原因之一，輕者如表土流失，重者則地力盡失、土壤劣化，而引發土壤流失的機制有天然降雨及人為開發，因此研究土壤流失的控制方法或推估流失量則成為土地資源保育重要課題。本研究特別針對世界各地廣泛應用的通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)及其理論基礎且準備取代前二者經驗公式而研發的水蝕推估模式(Water Erosion Prediction Project, WEPP)應用於台灣中部茶園的評估差異加以分析比較，結果顯示 USLE 模式及 WEPP 模式的模擬值略低於實測值，而 WEPP 模式的土壤流失量推估值與實測值最為接近。

(**關鍵詞**：土壤流失量，通用土壤流失公式，水蝕推估模式)

## Application and Discussion of Soil Erosion Prediction Model

*L.L. Lin<sup>(1)</sup>, W.Y. Lin<sup>(2)</sup>*

Candidate<sup>(1)</sup> and Professor<sup>(2)</sup>, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

### ABSTRACT

Soil erosion is one of causes of land resource consumption. Surface soil loss is the slight case. Soil fertility losses and the soil deterioration are the most severe cases. There are two mechanisms of soil loss: natural rain and human development. Hence, soil erosion control method or soil loss estimation is a very important research topic in land resource conservation.

USLE, and WEPP were applied to simulate the runoff and soil loss on tea plantation in this study. Among all models studied, the simulation result of WEPP is the most closest to the measured soil loss.

(**Key words**: soil loss, USLE, WEPP)

---

(1)國立中興大學水土保持學系博士候選人(通訊作者)

(2)國立中興大學水土保持學系教授

## 前言

目前廣泛應用的土壤流失推估公式為通用土壤流失公式 (Universal Soil Loss Equation, 簡稱 USLE, Wischmeier and Smith, 1978), 在各國仍有很多使用上的限制條件。水沖蝕推估模式 (Water Erosion Prediction Project, 簡稱 WEPP, Lane and Nearing, 1989; Laflen *et al.*, 1991) 為一具有理論根據的土壤沖蝕推估模式, 主要以水文學和沖蝕原理為基礎, 可適用於不同土地利用條件的地區。本研究即在比較 USLE 及 WEPP 二種模式應用於中海拔茶園之土壤流失量模擬的差異。

## 模式應用之條件

### 1. USLE

Wischmeier and Smith(1978)提出通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE), 它是由標準試區(unit plot)發展而來, 每個小試區條件為長 22.13m, 坡度 9%之斜坡, 其坡面上保持連續二年以上休耕和裸露, 而且採上下耕犁方式來量測土壤流失量, USLE 目前為水土保持技術規範中唯一明確指示為土壤流失量估算之方法。其公式如下式, 各因子則說明如后:

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$$

$A_m$ : 年平均土壤流失量(t/ha/yr)

#### (1)降雨沖蝕指數( $R_m$ )

降雨沖蝕指數的大小代表了降雨及逕流對土壤可能造成沖蝕程度的高低。

$$R_m = \sum_{i=1}^n (E P_i \times I_{30})$$

$R_m$ : 年平均降雨沖蝕指數

(MJ-mm/ha-hr-yr)

$E$ : 每公頃單位降雨量之降雨動能 (MJ/ha-mm)

$\sum P_i$ : 總降雨量(mm)

$I_{30}$ : 最大 30 分鐘降雨強度(mm/hr)

#### (2)土壤沖蝕指數( $K_m$ )

土壤沖蝕指數為土壤抵抗沖蝕之分離及搬運作用能力高低的一種量化指標, 其公式為:

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

$K_m$ : 年平均土壤沖蝕性指數

(t-hr-yr/ha-MJ-mm)

$M$ : 粉粒與極細砂(%) $\times$ (100%-粘粒含量%)

$a$ : 有機質含量(%)

$b$ : 土壤結構參數(分四級)

$c$ : 土壤滲透性參數(分六級)

#### (3)坡長與坡度因子(L&S)

當地表逕流之流路較長時, 對土壤之分離能力(detachability)和攜帶已分離之土壤的輸送能力(transportability)均相對提高, 因此土壤之流失量也會隨之增加; 當坡度增加時, 地表逕流所造成的破壞力亦隨之增加, 也會導致土壤流失量的增加。Wischmeier and Smith(1965)所提之坡長因子公式如下:

$$L = (\lambda / 22.13)m$$

$L$ : 坡長因子

$\lambda$ : 坡地之水平投影長(單位為 m)

$m$ : 指數(由坡度來決定)

坡度因子比較複雜, 目前採用之公式以 Wischmeier and Smith(1978)所提之坡度因子公式如下:

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065$$

S：坡度因子

θ：坡地之坡度(單位為°)

#### (4) 覆蓋管理因子(C)

C 為標準田間之土壤流失與具特殊作物覆蓋田間的土壤流失之比值，且兩者間具備相同的 K，L，S，R 值。由於植生或作物的植物冠層遮蔽(canopy cover)與生長或收成後的殘株敷蓋(residual mulch)屬於兩種不同的保護土壤方式，故通用土壤公式特將覆蓋管理因子以次因子(subfactor)的方式來分

別表示植物冠層遮蔽(CC)及殘株敷蓋(CS)，而代表該覆蓋與管理方式的 C 值即為各次因子之乘積；亦即  $C=CC \times CS$ 。

#### (5) 水土保持措施因子(P)

P 值為田間特有之特別耕作方式、控制措施或水土保持方法下的土壤流失量與標準田間土壤流失量之比值。Wischmeier and Smith(1978)亦將之收集在 USDA Agricultural Handbook No.537 中，茲將其中較重要的摘錄如表 1。

表 1 等高措施之 P 值及坡長極限

Table 1 P factor and length limits for contouring

| Slope Steepness (%) | P factors | Length limits(m) |
|---------------------|-----------|------------------|
| 1-2                 | 0.60      | 121.92           |
| 3-5                 | 0.50      | 91.44            |
| 6-8                 | 0.50      | 60.96            |
| 9-12                | 0.60      | 36.576           |
| 13-16               | 0.70      | 24.384           |
| 17-20               | 0.80      | 18.288           |
| 21-25               | 0.90      | 15.24            |

(摘自 USDA Agricultural Handbook No.537)

## 2. WEPP

WEPP(Water Erosion Prediction Project)模式(Lane and Nearing,1989)是由美國農業部發展的土壤沖蝕推估模式。其具有理論基礎，相關計算公式皆已植入模式核心，當使用模式所輸入的參數值即導入程式運算，WEPP 可以模擬單場暴雨或是連續暴雨所產生的土壤沖蝕量。模式主要有六個模組，分別為①氣候運算(Climat Generation)②水文(Hydrology)③植物生長(Plant Growth)④土壤(Soils)⑤灌溉(Irrigation)⑥沖蝕(Erosion)，每個模組皆具有獨立資料庫及運算之功能，其輸出結果為時間積分(Time-integrated)所推得的沖蝕量。

WEPP 模式較 USLE 模式不同的是其運算

結果包括兩個部分，

即現地沖蝕作用(On-site Effects)及區外沖蝕作用(Off-site Effects)。現地沖蝕作用可呈現三種結果：①坡面年平均土壤流失量比淨土壤流失量，此估算方式與 USLE 類似，其結果代表土壤生產力之流失程度。②坡面的年平均堆積量比淨堆積量，USLE 無堆積量估算功能。③提供坡面上一百個點每分鐘的土壤流失量。在區外沖蝕作用之結果描述則以自地表分離之泥砂推估量及顆粒大小的資料為主。由於土壤沖蝕被視為農業非點源污染之主要來源，所以 WEPP 推估自地表分離的泥砂量可應用於污染量控制之研究。以下是 WEPP 模式運算模組的操作流程(如圖 1)。

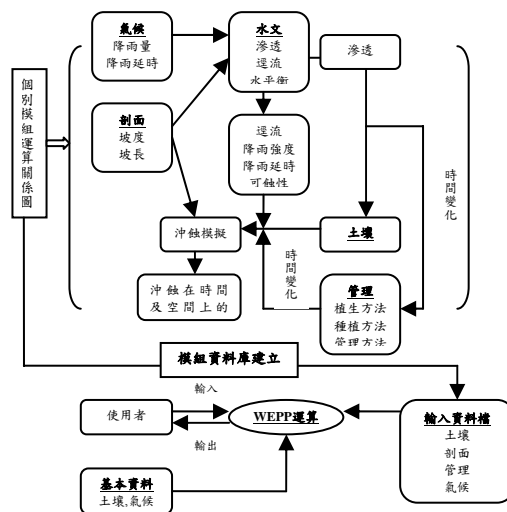


圖 1 WEPP 模式剖面流程圖  
Figure1. Flow chart of WEPP model profile

## 試區概述

本試區位在南投縣魚池鄉貓欄山之東南，鄰近日月潭，隸屬於台灣省茶業改良場魚池分場；地理位置為北緯 23° 52'，東經 120° 54' (圖 2)。海拔高度為 850 公尺，屬中海拔地形，試驗地的平坡度為 52%。全年溫度變化為

5.6°C ~ 31.5°C，年平均溫度 19.9°C；年雨量為 2000 ~ 2500mm 以上，且大多集中在五 ~ 九月，試區平均風速為 4.6m/s。試區土壤性質屬於日月潭系灰化紅黃粘壤土，質地為中或粗顆粒構造，土壤通透性屬中等至快速，而沖蝕等級則為低至中蝕性。土壤 pH 值介於 4.0 ~ 4.8，適合茶樹生長(林俐玲，1997)。

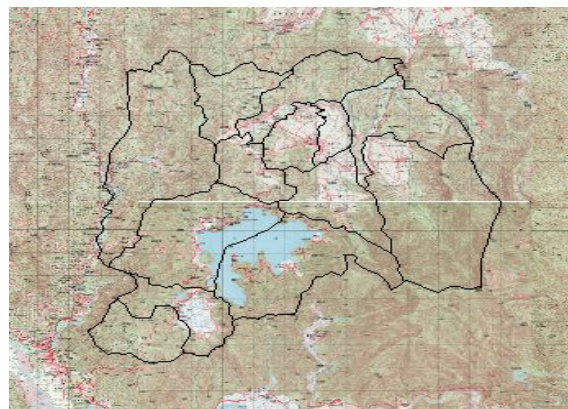


圖2 地理位置圖  
Figure2. Location of the experimental site

## 研究方法

本研究目的在探討土壤流失推估模式之應用與實際土壤流失量之關係，因此現地觀測值實為重要，故每場有效的降雨事件所觀測到的土壤流失量即為模式模擬結果的比較對象，所以模式應用過程必須考慮試區的現地資料及參數來源。圖 3 為整合田間試驗及模式分析之研究流程。

### 1. 試區配置

研究試區的配置規劃(如圖 4)是採用地形條件、地質條件、土壤條件相同的設計，即寬 2m、坡長 12.43m、客土厚度 2m、坡度 52%構築而成；作物管理為中海拔地區茶樹之生長模式；水土保持處理有平台階段、山邊溝、斜坡方式；田間試驗區配置採完全逢機試驗設計，地表處理有百喜草覆蓋(A)；枯草敷蓋(B)；台面淨耕(C)；裸露對照區(D)等四種處理，每種處理皆為二重覆。

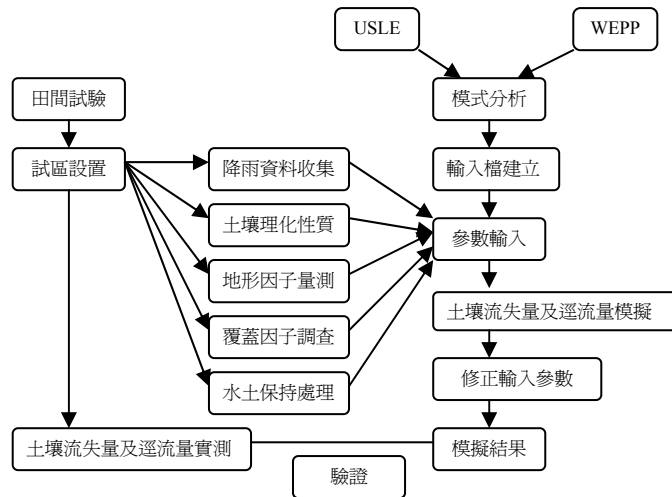


圖 3 研究流程圖

Figure3. Flow chart of the research method

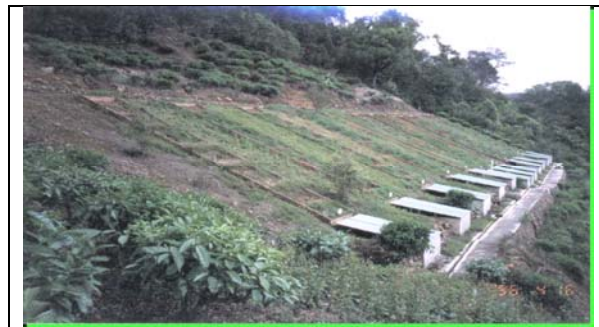


圖 4 研究試區配置圖

Figure4. The layout of the experimental plots.

## 2. 田間試驗

### (1) 土壤流失及逕流觀測

每一個處理樣區皆設有沉砂池，地表逕流挾帶泥砂流入收集槽（內、外二槽，面積分別為 2m×0.9m；2m×1.3m），當逕流量過大時將形成溢流，而溢出的部份將通過分水裝置（比例為 1：10），使一部份流入外槽。研究期間必須隨時前往試區觀測土壤流失量，以作為模式模擬結果之驗證資料。

### (2) 土壤入滲試驗

以土壤測滲儀（Guelph Permeameter）進行現地入滲試驗，並將各處理區的入滲試驗結果提供模式運算時之參數輸入。

### (3) 地表作物生長記錄

作物生長為一連續性的時間變數，故每次野外試驗即記錄作物（茶樹）冠徑、株高及植生覆蓋作物之覆蓋度等，以提供模式參數之輸入。

## 3. 土壤理化性質分析

取回的土樣先行風乾，再以#10 篩 (<2mm) 過篩，取粒徑小於 2 mm 的土壤進行理化性質分析。在三種模式中需要輸入的基本參數有 pH 值、土壤質地、土壤層數、起始飽和度、起始總體密度、起始飽和水力傳導度、田間含水量、永久凋萎點、砂粒含量百分比、粘粒含量百分比、有機質含量百分比、陽離子交換能量、岩屑含量百分比等。

## 結果與討論

研究期間自 84 年 5 月起至 87 年 3 月止共收到 95 場單場降雨資料，而土壤流失量資料則有 20 組實測值。本研究即利用 USLE 及 WEPP 二種模式推估在四種不同水土保持處理

時(即百喜草覆蓋、枯草敷蓋、臺面淨耕及裸露對照)所產生的土壤流失量，其分析結果如圖 5~8。

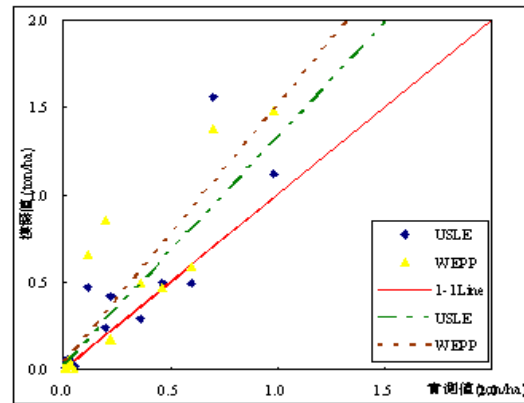


圖 5 百喜草覆蓋區實測與推估土壤流失比較圖  
Figure5 Comparison of different model on Bahia grass cover plot

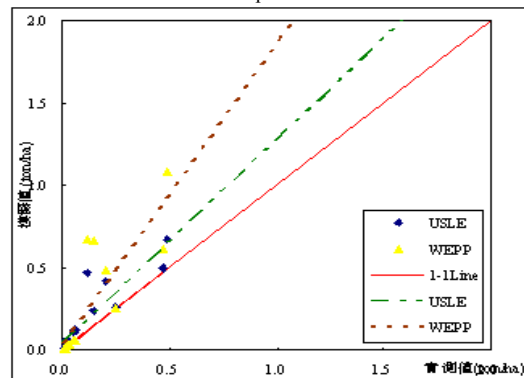


圖 6 枯草敷蓋區實測與推估土壤流失量關係圖  
Figure6 Comparison of different model on straw mulching plot

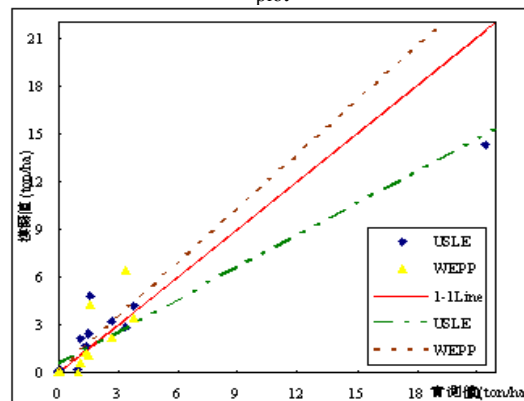


圖 7 台面淨耕實測與推估土壤流失量關係圖  
Figure7 Comparison of different model on clean tillage plot

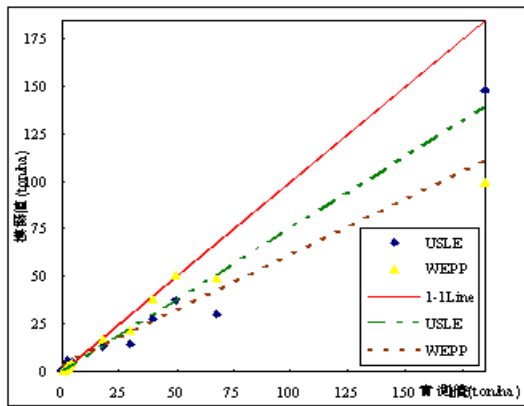


圖 8 裸露對照地實測與推估土壤流失量關係圖  
Figure8 Comparison of different model on bare control plot

由於二個模式中，只有 WEPP 模式可同時模擬逕流量及土壤流失量，而 USLE 模式僅能

做土壤流失量的模擬，因此本文暫不討論逕流量之比較結果。以下就 USLE 及 WEPP 模式輸入參數之推估結果(如表 2~表 9)分別討論：

### 1.USLE 的推估

由於模式中的 C 值對土壤流失量的影響性很大，因此不同作物管理因子可視為單場暴雨推估土壤流失時的唯一影響因子。本研究試區的台面淨耕區雖有茶樹的覆蓋，但與百喜草覆蓋或枯草敷蓋的處理區比較結果，其土壤流失量推估值較高(如表 4)；而裸露對照區在無任何作物保護措施的情況下，其土壤流失量推估值遠高於其他三個處理區(如表 5)。

表 2 USLE 模式推估百喜草覆蓋區採用的參數值  
Table 2 The parameters of USLE simulated on Bahia grass cover plot

| 日期    | 月雨量 (mm) | R (MJ-mm/ha-hr-yr) | K (t-hr-yr/ha-MJ-mm) | LS   | C     | P | A(ton/ac) | A(ton/ha) |
|-------|----------|--------------------|----------------------|------|-------|---|-----------|-----------|
| 84/5  | 216.9    | 44.72              | 0.27                 | 2.75 | 0.006 | 1 | 0.19      | 0.46      |
| 84/6  | 372.1    | 110.49             | 0.27                 | 2.75 | 0.005 | 1 | 0.40      | 0.98      |
| 84/7  | 391.7    | 183.39             | 0.27                 | 2.75 | 0.002 | 1 | 0.28      | 0.70      |
| 84/8  | 174.2    | 51.18              | 0.27                 | 2.75 | 0.002 | 1 | 0.09      | 0.22      |
| 84/9  | 169.7    | 47.68              | 0.27                 | 2.75 | 0.007 | 1 | 0.24      | 0.60      |
| 84/10 | 101.1    | 25.3               | 0.27                 | 2.75 | 0.008 | 1 | 0.15      | 0.36      |
| 85/3  | 30.3     | 1.11               | 0.27                 | 2.75 | 0.026 | 1 | 0.02      | 0.05      |
| 85/7  | 65.1     | 8.8                | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 85/8  | 287.9    | 103.7              | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.08      | 0.19      |
| 85/9  | 62.4     | 13.32              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 86/3  | 148.4    | 13.61              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 86/4  | 56.6     | 5.66               | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 86/5  | 164.7    | 29.18              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/6  | 197.2    | 38.38              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.03      |
| 86/7  | 604.9    | 382.63             | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.05      | 0.12      |
| 86/8  | 165.2    | 47.5               | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/9  | 151.4    | 41.23              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 87/1  | 111.7    | 8.93               | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 87/2  | 324.3    | 29.63              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 87/3  | 126.1    | 10.52              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.00      | 0.01      |

註：1acres=0.40468ha

表 3 USLE 模式推估枯草敷蓋區採用的參數值  
Table 3 The parameters of USLE simulated on straw mulching plot

| 日期    | 月雨量 (mm) | R (MJ-mm/ha-hr-yr) | K (t-hr-yr/ha-MJ-mm) | LS   | C     | P | A(ton/ac) | A(ton/ha) |
|-------|----------|--------------------|----------------------|------|-------|---|-----------|-----------|
| 84/5  | 216.9    | 44.72              | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.02      | 0.05      |
| 84/6  | 372.1    | 110.49             | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.08      | 0.20      |
| 84/7  | 391.7    | 183.39             | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.20      | 0.49      |
| 84/8  | 174.2    | 51.18              | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.02      | 0.05      |
| 84/9  | 169.7    | 47.68              | 0.27                 | 2.75 | 0.005 | 1 | 0.19      | 0.47      |
| 84/10 | 101.1    | 25.3               | 0.27                 | 2.75 | 0.005 | 1 | 0.10      | 0.25      |
| 85/3  | 30.3     | 1.11               | 0.27                 | 2.75 | 0.008 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 85/7  | 65.1     | 8.8                | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 85/8  | 287.9    | 103.7              | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.06      | 0.14      |
| 85/9  | 62.4     | 13.32              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 86/3  | 148.4    | 13.61              | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/4  | 56.6     | 5.66               | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 86/5  | 164.7    | 29.18              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/6  | 197.2    | 38.38              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.03      |
| 86/7  | 604.9    | 382.63             | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.05      | 0.11      |
| 86/8  | 165.2    | 47.5               | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/9  | 151.4    | 41.23              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 87/1  | 111.7    | 8.93               | 0.27                 | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.00      | 0.01      |
| 87/2  | 324.3    | 29.63              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 87/3  | 126.1    | 10.52              | 0.27                 | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.00      | 0.01      |

註：1acres=0.40468ha

表 4 USLE 模式推估台面淨耕區採用的參數值  
Table 4 The parameters of USLE simulated on clean tillage plot

| 日期    | 月雨量<br>(mm) | R<br>(MJ-mm/ha-hr-yr) | K<br>(t-hr-yr/ha-MJ-mm) | LS   | C     | P | A(ton/ac) | A(ton/ha) |
|-------|-------------|-----------------------|-------------------------|------|-------|---|-----------|-----------|
| 84/5  | 216.9       | 44.72                 | 0.27                    | 2.75 | 0.017 | 1 | 0.55      | 1.37      |
| 84/6  | 372.1       | 110.49                | 0.27                    | 2.75 | 0.018 | 1 | 1.52      | 3.75      |
| 84/7  | 391.7       | 183.39                | 0.27                    | 2.75 | 0.005 | 1 | 0.65      | 1.60      |
| 84/8  | 174.2       | 51.18                 | 0.27                    | 2.75 | 0.012 | 1 | 0.44      | 1.09      |
| 84/9  | 169.7       | 47.68                 | 0.27                    | 2.75 | 0.031 | 1 | 1.09      | 2.69      |
| 84/10 | 101.1       | 25.3                  | 0.27                    | 2.75 | 0.033 | 1 | 0.62      | 1.52      |
| 85/3  | 30.3        | 1.11                  | 0.27                    | 2.75 | 0.481 | 1 | 0.40      | 0.98      |
| 85/7  | 65.1        | 8.8                   | 0.27                    | 2.75 | 0.002 | 1 | 0.01      | 0.03      |
| 85/8  | 287.9       | 103.7                 | 0.27                    | 2.75 | 0.113 | 1 | 8.69      | 21.47     |
| 85/9  | 62.4        | 13.32                 | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/3  | 148.4       | 13.61                 | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/4  | 56.6        | 5.66                  | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.01      |
| 86/5  | 164.7       | 29.18                 | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.03      |
| 86/6  | 197.2       | 38.38                 | 0.27                    | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 86/7  | 604.9       | 382.63                | 0.27                    | 2.75 | 0.005 | 1 | 1.35      | 3.34      |
| 86/8  | 165.2       | 47.5                  | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.03      | 0.06      |
| 86/9  | 151.4       | 41.23                 | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.03      | 0.06      |
| 87/1  | 111.7       | 8.93                  | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 87/2  | 324.3       | 29.63                 | 0.27                    | 2.75 | 0.000 | 1 | 0.01      | 0.02      |
| 87/3  | 126.1       | 10.52                 | 0.27                    | 2.75 | 0.001 | 1 | 0.00      | 0.01      |

註：1acres=0.40468ha

表 5 USLE 模式推估裸露對照區採用的參數值  
Table 5 The parameters of USLE simulated on bare control plot

| 日期    | 月雨量<br>(mm) | R<br>(MJ-mm/ha-hr-yr) | K<br>(t-hr-yr/ha-MJ-mm) | LS   | C     | P | A(ton/ac) | A(ton/ha) |
|-------|-------------|-----------------------|-------------------------|------|-------|---|-----------|-----------|
| 84/5  | 216.9       | 44.72                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 81.14     | 200.50    |
| 84/6  | 372.1       | 110.49                | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 200.47    | 495.39    |
| 84/7  | 391.7       | 183.39                | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 332.74    | 822.24    |
| 84/8  | 174.2       | 51.18                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 92.86     | 229.47    |
| 84/9  | 169.7       | 47.68                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 86.51     | 213.78    |
| 84/10 | 101.1       | 25.3                  | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 45.90     | 113.43    |
| 85/3  | 30.3        | 1.11                  | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 2.01      | 4.98      |
| 85/7  | 65.1        | 8.8                   | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 15.97     | 39.46     |
| 85/8  | 287.9       | 103.7                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 188.15    | 464.94    |
| 85/9  | 62.4        | 13.32                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 24.17     | 59.72     |
| 86/3  | 148.4       | 13.61                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 24.69     | 61.02     |
| 86/4  | 56.6        | 5.66                  | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 10.27     | 25.38     |
| 86/5  | 164.7       | 29.18                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 52.94     | 130.83    |
| 86/6  | 197.2       | 38.38                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 69.64     | 172.08    |
| 86/7  | 604.9       | 382.63                | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 694.24    | 1715.54   |
| 86/8  | 165.2       | 47.5                  | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 86.18     | 212.97    |
| 86/9  | 151.4       | 41.23                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 74.81     | 184.86    |
| 87/1  | 111.7       | 8.93                  | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 16.20     | 40.04     |
| 87/2  | 324.3       | 29.63                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 53.76     | 132.85    |
| 87/3  | 126.1       | 10.52                 | 0.27                    | 6.72 | 1.000 | 1 | 19.09     | 47.17     |

註：1acres=0.40468ha

由於本研究試區有二種主要地形，即平台階段及斜坡裸露地，平台階段地形共分12個坡段，斜坡裸露地共分2個坡段，故以不規則坡(irregular slopes)計算。根據 Foster and Wischmeier(1974)提出之LS合併因子如下：

$$S = 65.41\sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.0654 \quad [1]$$

$$LS = \frac{1}{\lambda_e} \sum_{j=1}^n \frac{S_j \lambda_j^{m+1} - S_j \lambda_{j-1}^{m+1}}{(72.6)^m} \quad [2]$$

$\theta$ ：坡度(°)

$S_j$ ：在第j個坡段之坡度因子

$\lambda_j$ ：從這個不規則坡的坡頂到第j個坡段的下端

之水平距離(ft)

$m$ ：坡長因子指數，由第 j 個坡段邊坡之坡度來決定

$n$ ：坡段之總數

$\lambda_e$ ：總坡長(水平距離)(ft)

在公式[2]中，若為公制單位，則改為下式：

$$LS = \frac{1}{\lambda_e} \sum_{j=1}^n \frac{S_j \lambda_j^{m+1} - S_j \lambda_{j-1}^{m+1}}{(22.13)^m} \quad [3]$$

依上式[3]計算，本試區平台階段的 LS 值為 2.75，裸露對照區的 LS 值為 6.72。

另外試區的作物管理狀態不同，例如(茶



樹+百喜草覆蓋)、(茶樹+枯草敷蓋)、(茶樹+台面淨耕)、(裸露區)等四種處理,所以 C 值會影響土壤流失量的結果。

## 2.WEPP 的推估

### (一)氣候資料檔格式

本研究是以單場降雨為主,因此需選定單場降雨日期、降雨量、降雨延時、最大降雨強度等資料(中央氣象局日月潭氣象站提供之資料),經由 climate builder 模擬成氣候資料檔。參數輸入格式如下:

表 6 WEPP 模式氣候資料輸入參數  
Table 6 Climate file input parameters of WEPP model

| 日  | 月  | 西元年  | 降雨量(mm) | 降雨時間(hr) | tp  | ip   | 最高溫度(°C) | 最低溫度(°C) | 輻射量(lay/day) | 風速(m/sec) | 風向(deg) | 露點(°C) |
|----|----|------|---------|----------|-----|------|----------|----------|--------------|-----------|---------|--------|
| 25 | 07 | 1995 | 54.8    | 5        | 0.5 | 3.56 | 32.3     | 23.2     | 231          | 4.5       | 2.49    | 25.2   |

tp: 到達洪峰時間與降雨延時之比  
ip: 最大降雨強度與平均降雨強度之比

### (二)坡面資料檔格式

輸入試區實際量測之長度、寬度、各階段之坡度和長度等資料,經由 slope builder 建立

坡面資料檔。參數輸入格式如下:

表 7 WEPP 模式坡面資料輸入參數  
Table 7 Slope file input parameters of WEPP model

| 坡面上水流分段數: 1     | 田間寬度(m): 2  |
|-----------------|---|
| 坡向: 134         | 坡長(m): 12.43  |
| 坡面上分段數: 14      |   |
| 每一坡面之距離及坡度(m/m) | (0.052) (0.0596,0.52) (0.118,0) (0.244,0.52) (0.303,0) (0.415,0.52) (0.474,0) (0.578,0.52) (0.628,0) (0.717,0.52) (0.784,0) (0.881,0.52) (0.948,0) (1,0.52) |

### (三)土壤資料檔格式

輸入本研究試區之基本土壤資料,如砂粒(%),黏粒(%),有機質含量(%)、

起始飽和度(%)、CEC 值、飽和水力傳導度和岩屑百分比(%)等,經由 soil builder 建立土壤資料檔。參數輸入格式如下

表 8 WEPP 模式土壤資料輸入參數  
Table 8 Soil file input parameters of WEPP model

| 坡面上水流分段數: 1 | 飽和水力傳導度使用修正值: 1 |            |             |                   |                        |                    |                |                       |
|-------------|-----------------|------------|-------------|-------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| 土壤名稱:       | 土壤質地:           | 土壤層數       | 裸露乾燥時之土壤反射率 | 起始飽和度             | * 基線沖蝕溝間土壤分離參數(kgs/m4) | * 基線沖蝕溝土壤分離參數(s/m) | * 基線臨界剪力(N/m2) | * 土壤表面之有效水力傳導度(mm/hr) |
| 'Yu-chih'   | 'clay loam'     | 1          | 0.3         | 0.6               | 0                      | 0                  | 0              | 20.25                 |
| 土壤累積厚度(mm)  | 砂粒含量百分比(%)      | 粘粒含量百分比(%) | 有機質含量百分比(%) | 陽離子交換能量(meq/100g) | 岩屑含量百分比(%)             |                    |                |                       |
| 400         | 35.93           | 39.45      | 2.27        | 20                | 0                      |                    |                |                       |

\*可由使用者輸入或由模式自行管理資料檔給定

### (四)管理資料檔格式

這是所有資料檔中較為複雜的一項,需將作物

之種類、生長狀況、覆蓋狀況、田間操作狀況等資料輸入至資料庫中,經由 management builder 建立坡面資料檔。參數輸入格式如下:

表 9 WEPP 模式作物管理資料輸入參數  
Table 9 Management file input parameters of WEPP model

```

1.作物輸入檔
作物名稱：TEA(生長模式與 Cotton 相近)
土地利用方式：1<Cropland>
###以下由 WEPP 內建資料庫自行產生###
5.89 3.5 17.5 15 1.9 90 0 0.9 0.2 0.013 0.85 0.1 0.65 0.99 3 3650 0 1
mfo 之係數：2<不易碎>
###以下由 WEPP 內建資料庫自行產生###
0.01 0.0065 20 0 0.6 0.4 0.1 0 30 30 0 6 0

2.作物初始狀態輸入檔
生長狀態數：1
生長模式：覆蓋
土地利用方式：1<Cropland>
初始狀態參數：1.3 0.5 0 0 0 0.8
初始覆蓋種類：1<Cotton 資料庫>
初始覆蓋型態：1<Annual>
輸入參數：51.2 0.5 0.9 0 0
蝕溝寬度種類：1<Temporary>
輸入參數：0 0 0.1 0.2 0 0.03136 0.02

3.年管理資料輸入檔
模擬年數：1
模擬生長模式：覆蓋
土地利用方式：1<Cropland>
作物名稱：TEA(生長模式與 Cotton 相近)
耕作方式：1<Annual>
種植天數：32 天
種植列寬：0.6m
殘株管理：4<剪枝>
    
```

根據實地觀測結果顯示，四種不同處理產生的土壤沖蝕量以百喜草覆蓋處理之沖蝕量最少，其次為枯草敷蓋，而裸露地之沖蝕量最高，如圖 9 所示。

若個別以 USLE、WEPP 二種模式推估土壤流失量，則其模擬值與實測值之關係圖分別為圖 10、圖 11 所示。

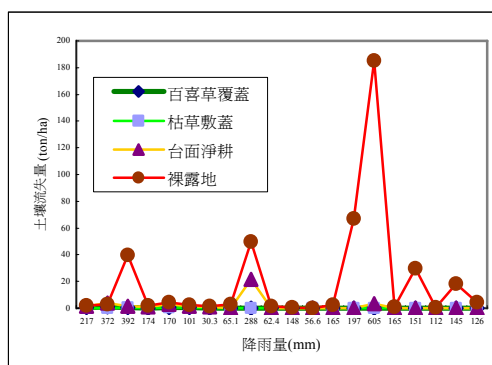


圖 9 不同水土保持處理之土壤流失量結果  
Figure9. Soil loss of the different treatment

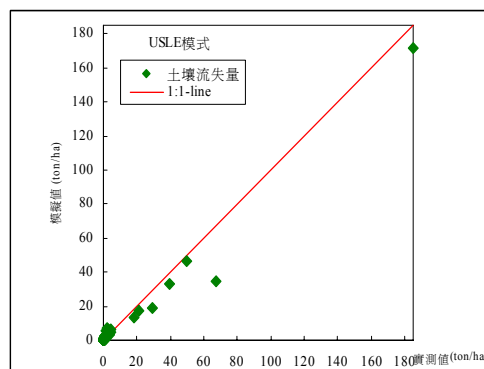


圖 10 USLE 模式的土壤流失量模擬值與實測值關係圖  
Figure10. The relation of USLE simulated and measured.

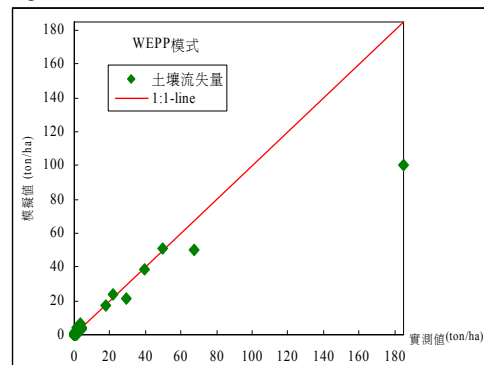


圖 11 WEPP 土壤流失量模擬值與實測值關係圖  
Figure11. The relation of WEPP simulated and measured.

由圖 10 及圖 11 判斷，USLE 模式及 WEPP 模式的模擬值略低於實測值，而 WEPP 模式的模擬值與實測值最為接近。二種模式應用於土壤流失量推估時皆與實測值具有高度相關性。由於不同水土保持處理方法對土壤流失量之控制有明顯差異，因此就模式個別模擬不同處理所得推估值與實測值進行迴歸分析，目的是探討模式應用於不同水土保持處理時模擬值與實測值的關係，結果如表 10、表 11 所示。

表 10 不同處理時 USLE 模擬值與實測值之關係

Table 10. Relation between USLE simulated and measured

| 坡面處理方式 | 迴歸方程式            | 相關係數R <sup>2</sup> |
|--------|------------------|--------------------|
| 百喜草覆蓋  | Y=1.5208X+0.021  | 0.8007**           |
| 枯草敷蓋   | Y=1.4187X+0.0236 | 0.9219**           |
| 台面淨耕   | Y=0.8059X+0.6037 | 0.9236**           |
| 裸露對照   | Y=0.8769X-0.0304 | 0.9703**           |

註：X 為實測土壤流失量；Y 為模擬土壤流失量

表 11 不同處理時 WEPP 模擬值與實測值之關係

Table 11. Relation between WEPP simulated and measured

| 坡面處理方式 | 迴歸方程式            | 相關係數R <sup>2</sup> |
|--------|------------------|--------------------|
| 百喜草覆蓋  | Y=1.4756X+0.032  | 0.8016**           |
| 枯草敷蓋   | Y=1.8258X+0.0247 | 0.7288**           |
| 台面淨耕   | Y=1.1310X+0.0309 | 0.9713**           |
| 裸露對照   | Y=0.5814X+3.1248 | 0.9385**           |

註：X 為實測土壤流失量；Y 為模擬土壤流失量

## 結論

1. 研究期間發現，在高降雨量與降雨強度下，地表之覆蓋與敷蓋發揮其截留雨量與增加土壤滲透率之功能，使逕流量減少；但模式在模擬高降雨強度時，對植生覆蓋因子並非高度敏感，所以模擬值比實測值有偏高現象。
2. 坡面植生覆蓋及敷蓋處理在陡坡地可以有效發揮控制土壤沖蝕之功效。在此研究中 USLE 的覆蓋及敷蓋因子似乎會隨著降雨

強度改變而改變，所以在模擬結果也會隨著高低降雨強度不同而有變動。故推測 USLE 中的 R<sub>m</sub> 及 C 因子應有相互之交感作用。

3. WEPP 模式在模擬各處理區的土壤流失情形發現一個現象，即 WEPP 在百喜草覆蓋及枯草敷蓋的模擬值很接近實測值，但裸露地的模擬值明顯低於實測值，可能的原因為作物管理資料庫中，茶樹的樹冠具有垂直投影覆蓋的效用，因此產生模擬值低於實測值。
4. 總結在 USLE 及 WEPP 二種模式之應用，可得知 WEPP 模式在本研究試區，即中海拔茶園不同處理下的土壤流失量推估值與實測值最為接近。

## 參考文獻

1. 吳嘉俊，1995，台灣水土保持因子之訂定與坡長坡度研究。中美陡坡土壤流失量推估技術研討會論文集，pp117~134。
2. 林俐玲，1995，覆蓋管理因子(C 值)之評定。中美陡坡土壤流失量推估技術研討會論文集，pp109~116。
3. 林俐玲、林文英(1997)，「水蝕推估模式 WEPP 之評估與驗證」，中華水土保持學報，28(2):145-156。
4. 林俐玲(2002)，「應用修正型通用土壤流失公式推算台灣中部茶園土壤流失量」，中華水土保持學報，34(2):109-124。
5. 胡自健，1996，修正版通用土壤流失公式 (RUSLE) 應用於中海拔地區茶園不同處理之土壤流失量評估與驗證。中興大學水土保持學研究所碩士論文。

6. 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。
7. Lane, L.J., and M.A. Nearing, eds.(1989), "USDA-Water Erosion Prediction Project : Hillslope profile model documentation. NSERL Rpt. No. 2. Nat. Soil Erosion Res. Lab., Agr. Res. Serv., U.S. Dept, Agr., W. Lafayette, Ind.
8. Laflen, J.M., L.J. Lane, and G.R. Foster. 1991. WEPP: A new Generation of Erosion Prediction Technology. J. Soil & Water Cons., 46(1) : 34-38.
9. Lane, L.J. and M.A. Nearing. 1989. USDA-Water Erosion Prediction Project : Hillslope Profile Model Documentation. USDA ARS-NSERL Report No.2, West Lafayette, IN, 47907.
10. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, and J.P. Proter. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. J. Soil & Water Cons., 46(1):30-33.
11. Wischmeier W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Department of Agricultural, Agric. Handbook No.537,USDA, Washington, D.C.58PP.
12. Yoder, D.C. 1995. The RUSLE Computer Program and its Database : Maxing Flexibility and Power Proceedings of Sino-American Workshop on Steepland Soil Erosion Estimation Technology. pp179-193.
13. Zingg, R.W. 1940. Degree and Length of Land Slope as It Affects Soil Loss in Runoff. Agricultural Engineering, 21:59-64

---

96 年 06 月 04 日 收稿

97 年 04 月 14 日 修改

97 年 05 月 11 日 接受