

SWAT 模式參數之敏感性分析—以來社溪集水區為例

吳蕙雯⁽¹⁾ 鍾閔光⁽²⁾ 林俐玲⁽³⁾

摘要

本研究以 SWAT(Soil Water Assessment Tool)模式為對象，介紹其水文及泥砂方面之理論架構、計算運行方式，針對數據資料庫進行分析，描述模式所需的數據資料，且應用 SWAT 模式，建置屏東縣來社溪集水區的土壤類型資料庫、土地利用數據資料庫、氣候條件資料庫，針對流量及泥砂兩因子進行參數敏感性分析。敏感性分析結果顯示，在以常綠林地、水利設施、交通設施為土地利用之子集水區，對流量及泥砂產量最敏感的輸入參數分別為 Esco 和 Blai，在以農業利用為主的子集水區，對流量及泥砂產量最敏感的輸入參數分別為 Esco 和 Cn2。

(**關鍵詞**：敏感性分析、SWAT 模式)

The Sensitivity Analysis of SWAT Mode Parameter — Laishe Creek Watershed

Hui-Wen Wu⁽¹⁾ *Ming-Kuang Chung*⁽²⁾, *Li-Ling Lin*⁽³⁾

Graduate student⁽¹⁾ Graduate student⁽²⁾, Professor⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

This study mainly based on SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model, introducing the structure of the model, which is about hydrology and sediment, and explains the basic database of SWAT model. In order to analyze sensitive parameters for flow and sediment, land use type and weather data of Laishe creek watershed were constructed by using SWAT model. Based on the results of sensitivity analysis, the land use of watershed which is evergreen, water facilities and transportation, the most sensitive input parameters for flow and sediment are Esco and Blai. Then the land use of the watershed which is agriculture, the most sensitive input parameters for flow and sediment are Esco and Cn2. (Keywords: sensitivity analysis, SWAT model)

1 國立中興大學水土保持學系研究生，通訊作者 email:rebecca321567528@yahoo.com.tw

2 國立中興大學水土保持學系研究生

3 國立中興大學水土保持學系教授

前言

年來全球氣候變遷，導致諸多災害發生，而台灣位屬於高溫多雨的亞熱帶氣候，由於降雨豐沛且集中、地形破碎、山陡流急、人口密度高，再加上經濟蓬勃發展和坡地開發的人為破壞，使得集水區土壤沖蝕之情形甚為嚴重。為有效了解沖蝕產生的影響，集水區水量及土壤泥砂產量之評估與控制便成為目前極度重要的課題。

SWAT 模式於 1990 年初由美國農業部之農業研究中心(USDA-ARS) Jeff Arnold 博士領導之團隊所研發。現今已廣泛應用於評估在不同管理方案下。如對集水區長時間所產生的流量、泥砂量、營養鹽和農藥的衝擊影響。

SWAT 模式具有許多優點且模式經長期發展與修正，整合許多美國農業部(USDA) 歷年來所發展之模式修正建構而成，模擬機制相當完善，經檢定和驗證後，模擬結果可作為流域管理策略改變時的參考方案，而不必投入大量的人力、物力與時間進行實際測量(Arnold et al., 2005)。且模式具有綜合、分佈、基於物理機制並且與 GIS 集成的特徵，具備模擬流域水文狀況的功能，已在水資源和環境領域中得到廣泛的承認及普及 (龐靖鵬等，2007)。

在西方 SWAT 模式被應用來進行以日與月為時間單位的水文流量模擬，例如：地下水與地表水流量(Spruill, et al. ,2000；Chu and Shirmohammadi ,2004)，Santhi 等人更用 SWAT 模式，以河流域為研究區域，模擬大

型流域的點源與非點源污染(Santhi, et al. ,2001)。此外，SWAT 模式也可以在不同條件下的土地上，例如：坡度、地表覆蓋種類等，進行土壤沖蝕量的預測(Mosbahi et al. ,2013)。

在中國也有許多學者利用 SWAT 模式模擬集水區內的逕流及泥砂產量(Shen, et al. ,2009)，石小蘭學者(2011)更進一步的建構出五種不同的情境，利用 SWAT 模式研究不同土地利用方式下，集水區流量變化的影響機制。

近年來在國內陳立宗學者等人，運用 SWAT 模式，以台灣的翡翠水庫集水區為研究區域，進行集水區流量、泥砂和營養鹽以月為時間單位之模擬。研究結論表示 SWAT 模式能適用於國內集水區模擬流量、泥砂和營養鹽(陳立宗等人,2009)。而吳政緯等學者則是更進一步利用 SWAT 模式模擬翡翠水庫及其集水區在不同土地利用或管理措施改變所造成的水文及水質影響，研究顯示 SWAT 模式具有模擬混合土地利用集水區長期水文暨水質反應之能力，亦可有效管理土地利用及控制非點源污染。(吳政緯等人,2010)

本研究以 SWAT 模式為對象，建立屏東縣來社溪集水區資料庫，並針對流量及泥砂兩因子進行輸入參數之敏感性分析，比較各項輸入參數對於模擬來社溪流量及泥沙產量之影響，並將各輸入因子進行敏感度排行，找出對來社溪流量及泥沙產量影響最大之參數，以期未來在收集模式之基本資料、整理數據時，能將各輸入參數之敏感度加入

考量，對於影響輸出結果較大的輸入參數，也就是敏感度較大的參數，可蒐集更加完善的資料並以小心、謹慎的考量去建立模型之基本資料庫；而對於影響輸出結果較小，也就是敏感度較小的參數，可利用 SWAT 模式中較相近的預設值來代替需建置之資料庫。

研究方法與材料

SWAT 模式介紹

SWAT 模式本身以物理性描述為基礎，僅需輸入相關資料即可進行模擬及驗證，無須參數率定，此為模式特點之一，與一般須以輸入變數與輸出變數建立迴歸關係作為模擬依據之模式有所不同。

SWAT 在模擬時間上是具有連續性，並以日為時間模擬尺度，屬於長時期模擬之模式，並不適用於事件式洪水的模擬。以日為基本時間單位模擬水文、泥砂、地表作物生長、土地利用、營養鹽的循環及農藥傳輸，評估集水區在不同土地利用與土壤性質的管理作業下對水文、泥砂、營養鹽及農藥承載之影響。

在空間上，模式將集水區細分為更小的子集水區，子集水區更可細分為數個水文響應單元(Hydrologic Response Unit, HRU)，以反應不同的土地利用、土壤性質及坡度，並可指定 HRU 水流的流向，模式以 HRU 為主要計算單元，在 HRU 中估算流量、泥砂、營養鹽及農藥等產量，子集水區中各 HRU 的產量加總可以獲得子集水區的產量，再經河道演算到集水區出口(Arnold et al., 2005)。

本研究使用的 SWAT 模式為 2011 年推出之 ArcSWAT 2009.93.7b for ArcGIS9.3 SP2 版本，是 SWAT 結合了地理資訊系統 ArcGIS 為介面之模式，具有詳細的地理資訊分析功能，使模式能更精確的模擬集水區之水及泥砂產量情形。

水文模型

SWAT 模式模擬水的移動過程，如圖 1 所示，其水文演算包括地表逕流、蒸發散、土壤水及地下水等部份。降水落於集水區內地面時，地面上的水入滲至土壤層中，若其水量超過入滲水量，水在地表上則形成地表逕流流入水體，而地表逕流的傳輸及水體之蒸發作用都會造成水分散失。

模式中將土壤分為 10 層，若土壤層中含水量超過其田間含水量，且下一層土壤層為未飽和狀態，土壤層中的水則會滲透至下一層土壤層中，最後經最底層之土壤層補注到含水層中；若土壤層中的含水量呈現飽和狀態，滲透作用將被抑制，水會聚集於土壤剖面內，產生側向流動而匯入主河道。土壤層中的水則會因植物攝取和土壤蒸發作用而損失。

在含水層的部分，模式主要分成淺含水層和深含水層。淺含水層中的水會回流到主河道，形成主河道的基流量，或滲透到深含水層，而在淺含水層中亦會因再蒸發作用而減少水量。

經河道演算後的水，流入下一個子集水區的河道再進行演算，直至出流口處或水庫，此循環過程即為 SWAT 模式中水的移動程。

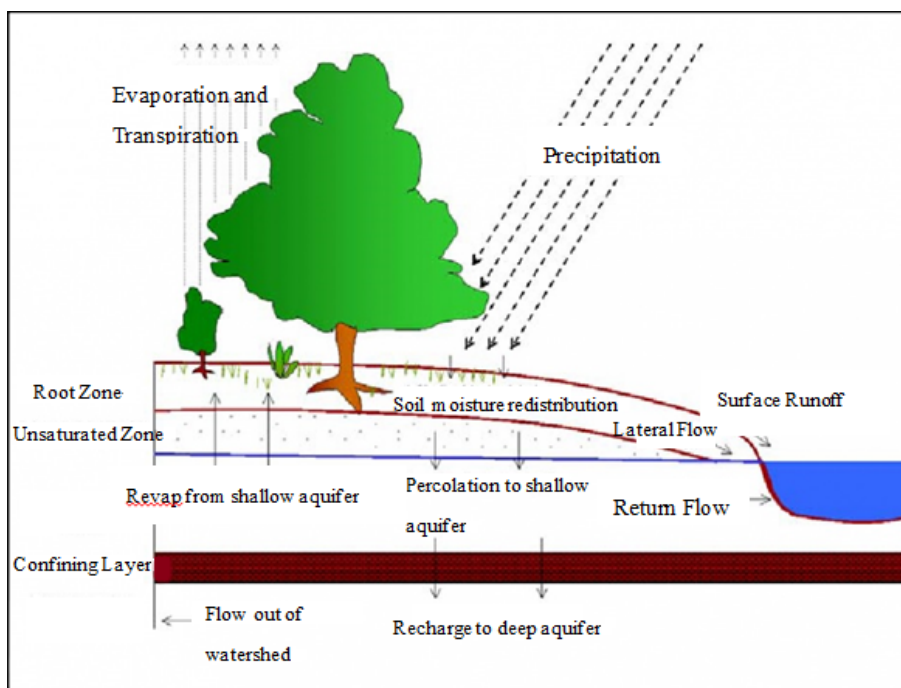


圖 1.模式中水的移動過程圖(SWAT 使用手冊,2009)

Fig.1 Schematic representation of the hydrologic cycle(SWAT user manual,2009)

1. 泥沙模型

SWAT 模式模擬集水區中產出泥沙之過程，主要分為地表沖蝕及河道中的泥沙傳輸兩部份。地表上的泥沙經由地表逕流的沖刷，伴隨著地表逕流進入河道；在河道中泥沙亦會產生沉澱和沖蝕的傳輸行為。

地表沖蝕於模式中以 Modified Universal Soil Loss Equation(MUSLE)(Williams,1975)估算逕流產生之泥沙量，由於地表逕流會沖蝕土壤表面造成泥沙量增加，故 MUSLE 考量水文及地文兩大因子進行一日之泥沙產量估算，因子包括：地表逕流、尖峰流量、HRU 之面積、土壤沖蝕性、地表覆蓋和水土保持措施等因子，如

公式(1)所示。

$$\begin{aligned} \text{sed} = & 11.8 \times (Q_{\text{surf}} \times q_{\text{peak}} \times \text{area}_{\text{hru}})^{0.56} \\ & \times K_{\text{USLE}} \times C_{\text{USLE}} \times P_{\text{USLE}} \\ & \times LS_{\text{USLE}} \times \text{CFRG} \end{aligned} \quad (1)$$

sed: 一日泥沙產出量(mt)。

Q_{surf} : 地表逕流量(mm/ha)。

q_{peak} : 尖峰流量(m^3/s)。

area_{hru} : HRU 之面積(ha)。

K_{USLE} : 土壤沖蝕因子。

C_{USLE} : 作物與管理因子。

P_{USLE} : 水土保持因子。

LS_{USLE} : 地形因子。

CFRG: 粗糙碎片因子。

研究材料

SWAT 模式需要輸入的數據資料主要有：

1. 流域數值高程模型(DEM):

本研究採用水土保持局台南分局所提供之屏東縣來義鄉 DEM 進行模擬分析，如圖 2 所示，利用 SWAT 模式將來社溪集水區劃分為 22 個子集水區，總集水區面積約為 3,850.27 公頃，由於 SWAT 模式利用集水區之降水入流口及出口口搭配河川網絡來進行集水區範圍劃分，故劃分後之面積可能與實際情形有所差異。劃分後集水區內最高點約

2,242 公尺，平均高程約 1,000 公尺。

2. 土地利用數據:

模式內之土地利用資料是基於美國國家地質調查局(USGS)的土地分類系統，以北美地區之植生類型進行分類，主要用來模擬植被生長和營養物質循環之情形，以及植物生長需水量和地表逕流量。依據國土測繪中心的圖資統計，將來社溪集水區劃分為常綠森林、農業使用、水利設施和交通設施共 4 種土地利用類型，表 1 為各種土地利用類型於 SWAT 模式內輸入之代碼及所占面積之百分比，圖 3 為 SWAT 模式劃分後之結果。

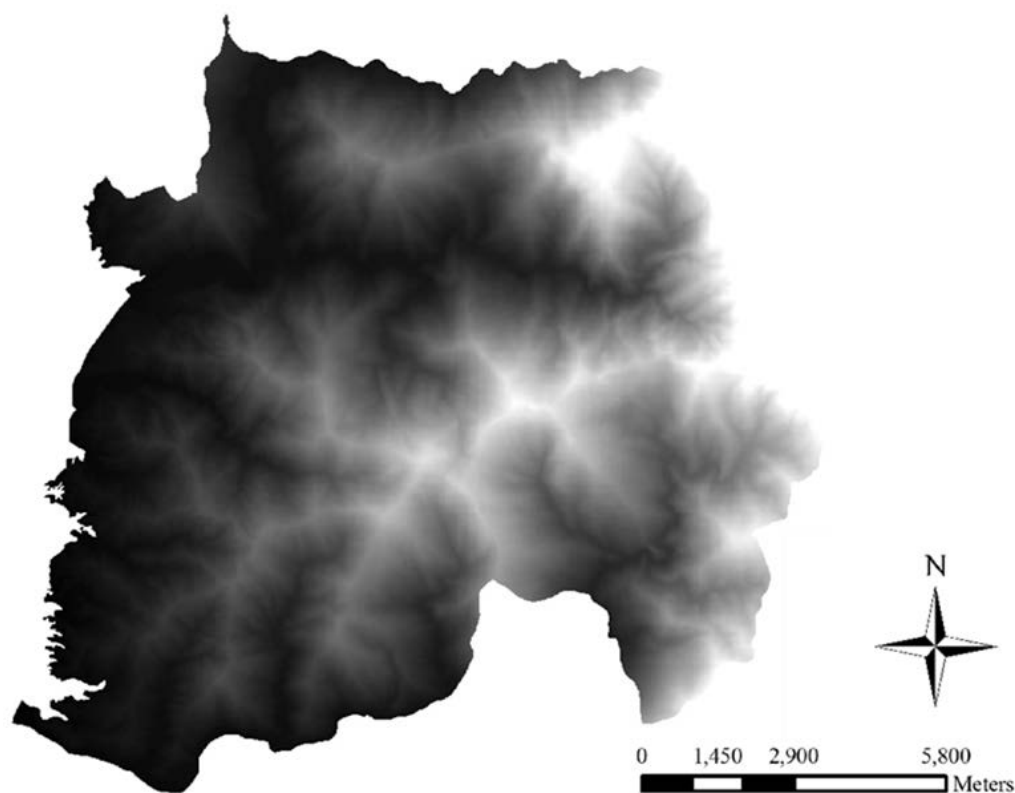


圖 2 屏東縣來義鄉 DEM

Fig. 2 DEM map of Laiyi country

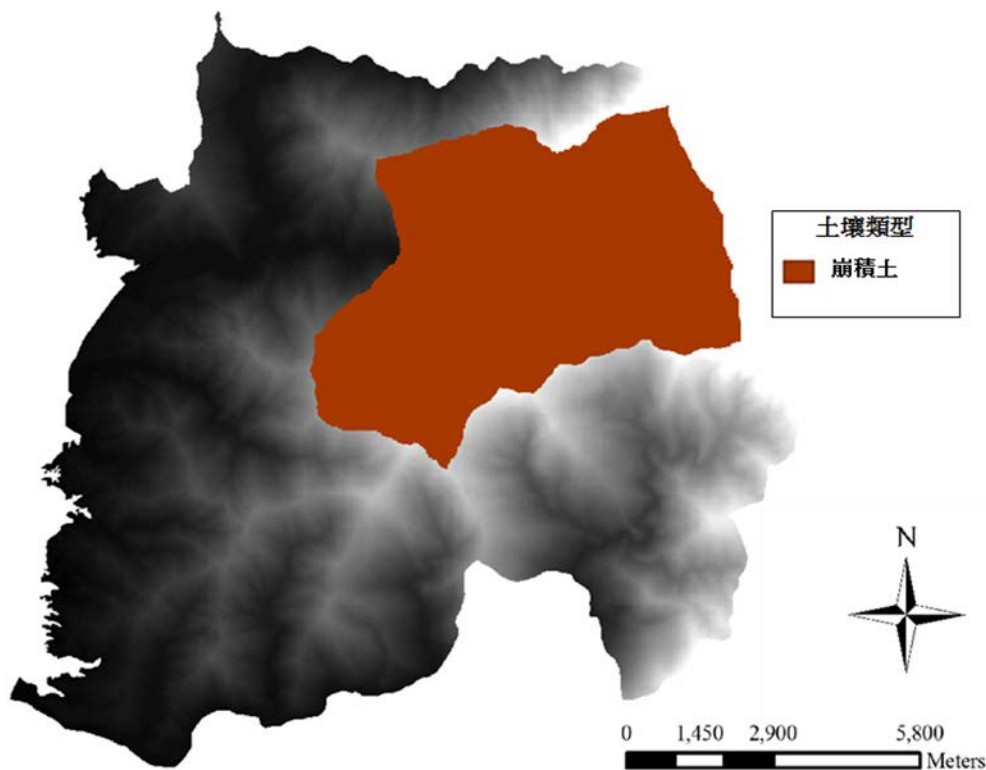


圖 4 來社溪集水區土壤類型圖

Fig.4 Soil type map of Laishan creek watershed

3. 土壤類型數據:

依據行政院農委會出版之「台灣地區土壤分布圖」研判，來社溪集水區內以無母質為主，其次為石質土及崩積土，由於無母質並無固定之土壤性質，故本研究將試區之土壤

設定為崩積土，以利研究進行。圖 4 為 SWAT 模式劃分後之土壤類型結果。

氣象資料數據:

由於來社溪集水區內僅有雨量測站並無氣象測站，故選用鄰近之中央氣象局恆春測站 2006 年至 2014 年之氣溫資料進行模擬。雨量方面，本研究採用水利署設置之新來義

雨量站資料，其標高約為 250 公尺，選定 1973 年至 2013 年共 41 年的雨量統計資料進行模擬。以上所需資料之格式及來源說明如表 2 所示。

研究方法

1. 敏感性分析

敏感性分析主要探討在輸入參數變動的情況下，對模式模擬結果的影響程度，當模擬結果對某一輸入參數的變動極為敏感時，表示該參數值的些微變動將導致模式輸出值產生大幅的變化，因此藉由敏感性分析可了解各項輸入參數對流量、泥砂和營養鹽等輸出值之影響程度，有助於模式的檢定過程中，優先選取敏感性高的輸入參數來進行檢定，

- ter assessment tool theoretical documentation version 2005.”
10. Bingner, R.L. (1996), “Runoff simulated from Goodwin Creek Watershed using SWAT,” Transactions of the American Society of Agricultural Engineers., 39 (1): 85-90.
 11. Chu, T.W. and A. Shirmohammadi (2004), “Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the Piedmont physiographic region of Maryland,” Transactions of the American Society of Agricultural Engineers., 47 (4): 1057-1073.
 12. McKay, M.D. (1988), “Sensitivity and Uncertainty Analysis Using a Statistical Sample of Input Values,” CRC Press, Boca Raton, FL: 145-186.
 13. Mosbahi, M., S. Benabdallah and M. R. Boussema (2013), “Assessment of soil erosion risk using SWAT model.” Arabian Journal of Geosciences.,6(10): 4011-4019.
 14. Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Williams, L. M. Hauck, W. A. Dugas(2001), “Application of a watershed model to evaluate management effects on point and non-point source pollution,” Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 44 (6):1559-1570.
 15. Shen, Z. Y., Y. W. Gong, Y. H. Li, Q. Hong, L. Xu and R. M. Liu (2009). "A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area." Agricultural Water Management 96(10): 1435-1442.
 16. Soil and Water Assessment Tool , <http://swat.tamu.edu/>
 17. Spruill, C.A., S. R. Workman and J. L. Taraba. (2000), “Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model,” Transactions of the American Society of Agricultural Engineers., 43 (6): 1431-1439.
 18. Soil and Water Assessment Tool user manual(2009)
 19. Williams, J. R. (1975), “Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor,” Sediment-Yield Workshop, Present and Prospective Technol. for Predict Sediment Yields and Sources, Proc., USDA Sediment Lab.: 244-252.
-
- 104 年 09 月 01 日收稿
104 年 09 月 09 日修改
105 年 03 月 08 日接受