

年農業非點源污染模式 (AnnAGNPS) 推估集水區逕流量之適用性探討

許桓碩⁽¹⁾ 林家榮⁽²⁾ 鄭旭涵⁽²⁾ 林昭遠⁽³⁾

摘要

農業非點源污染模式 (AGNPS) 自發展至今受到廣泛的使用, 許多研究指出該模式在逕流與泥砂方面, 模擬結果與實測資料相當符合, 因此該模式發展出連續模擬功能, 並與地理資訊系統 (GIS) 結合, 演變為年農業非點源污染模式 (AnnAGNPS)。本研究主要為介紹 AnnAGNPS 模式基本架構並以白石溪集水區做為研究試區探討模式模擬逕流量之適用性, AnnAGNPS 模式需要集水區完整資料才可對集水區進行模擬, 包含數值高程模型 (DEM)、土壤、土地利用、氣象等資料, 基本資料蒐集完整後尚須對模式進行校正, 校正期間分別對 CN 值進行±5%、±10%、±15%, 當 CN 值選用+15%時, 模式平均誤差縮小至 58.15%, 為六組 CN 值中誤差最小, 推估值與實測值經迴歸分析後 $R^2=0.93$, 驗證期間模式平均誤差 77%, 推估值與實測值經迴歸分析後 $R^2=0.87$ 。

(**關鍵詞**: AnnAGNPS、集水區經營、地表逕流)

Evaluation of Using AnnAGNPS for Simulating Watershed Runoff Volume

Huan-Shih Hsu⁽¹⁾, Chia-Rung Lin⁽²⁾, Jero-Hertz Jeng⁽²⁾, Chao-Yuan Lin⁽³⁾

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

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系碩士生
 - (2) 國立中興大學水土保持學系博士生
 - (3) 國立中興大學水土保持學系教授

ABSTRACT

Many studies pointed out that the prediction of using AGNPS on the runoff and sediment yield corresponded well with the experimental outcome. Thus, that the continuously simulation function developed from AGNPS combines with Geography Information System (GIS) becomes AnnAGNPS. The purpose of this paper is to introduce the basic structure of AnnAGNPS and to investigate the applicability of simulating Paishin Creek watershed runoff. For watershed runoff simulation, AnnAGNPS requires complete data including DEM, soil, landuse, and climate. After data collection, calibrating the mode was required. In the process of calibration the six choices (i.e.): $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ were used of the published CN values. When calibration selects $+15\%$, the average deviation decreases to 58.15% which is the minimum deviation within the six choices with R^2 of 0.93. However, during the validation, the number of average deviation is 75% a with R^2 of 0.87.

前言

農業非點源污染模式 (AGNPS) 自發展至今受到廣泛的使用，在許多的研究中指出該模式確有其適用性，在逕流與泥砂方面，模擬結果與實測資料相當符合 (盧光輝等，1990；林俐玲等，1992；游繁結等，1992；張文章等，1994；林俐玲等，1998；Young et al., 1989；Engel et al., 1993；Ambar and Mitchell, 1997；Rode and Frede, 1997；Lenzi and Luzio, 1997；Mostaghimi et al., 1997；Grunwald and Norton, 2000)，因此該模式發展出連續模擬功能，並與地理資訊系統 (GIS) 結合，演變為年度農業非點源污染模式 (AnnAGNPS)。

AnnAGNPS 模式正處於推廣之初，國內文獻甚少，僅有：胡毓解 (2004) 利用 AGNPS 與 AnnAGNPS 模擬萬安溪集水區之泥砂、逕流及營養鹽。國外研究有：Jennifer et al. (2001) 於喬治亞州南方之 Piscola Creek 集水區，連續模擬泥砂及營養負荷量，在無實際溪流流量資料下，根據預測逕流量將預測

之營養負荷量轉換成濃度，並與採樣資料相比較。研究指出：模式目前並不能預測貢獻溪流或基流之中間地表逕流，而模擬結果也不如預期的與溪流資料相吻合，需要更多之實際資料與模式比較。Baginska et al. (2003) 模擬 Currency Creek 輸出之氮及磷負荷量，設置監測站並以事件資料庫作為校準與驗證；此外研究應用模式獨立性與非線性參數評估軟體 PEST，進行敏感度分析決定模式重要的關鍵參數，結果顯示：AnnAGNPS 模式在模擬逕流量方面有著令人滿意的結果，而在氮的推估上有著高度的不確定性。磷負荷之預測與實測結果相當相似，而表土之 pH 具高度敏感性，pH 增加一個單位將使微粒磷負荷量增加 34%；模式之優勢在於可以輸入大量資料如土壤及氣候資料等，但相對地也需要耗費大量時間與資源。Yong et al. (2003) 測試 AnnAGNPS 2.0 模擬氮負荷量的性能，利用密西西比三角洲管理系統評估區域計畫 (MDMSEA) 之 Deep Hollow 集水區，模擬並與實測結果對照，研究顯示：在 95% 的信

賴水準下，統計測試 (t-test) 顯示預測之氮負荷量與實測之氮負荷量沒有顯著的差異。

本研究主要為介紹 AnnAGNPS 模式基本架構並探討於台灣大面積集水區進行逕流量模擬之適用性，此模式在國外有不錯的模擬成果，然台灣地理環境特殊，期能建立合適於台灣之參數，提供集水區管理者一有用之效益評估工具。

壹、材料與方法

一、研究試區概述

研究試區為石門水庫上游之白石溪集水區，白石溪位於新竹縣尖石鄉及五峰鄉之間，地理位置詳見圖 1，白石溪呈南北走向，試區總面積為 11877 ha，區內高程介於 850~3387 m，試區地文因子分析如表 1，水文因子分析如表 2。區內坡度以六級坡 (55%~100%) 為主，約佔總面積之 58.91%，五級坡 (40%~55%) 次之，佔 20.65%。區內之土地利用以天然林為主，約佔全區 95.15%。區內土壤近乎全為石質土，佔全區 99.56%。氣候水文方面，區內共有新白石、秀巒兩個氣象站以及秀巒流量站，其中秀巒流量站亦是本試驗集水區之出水口，各水文氣象站以及試區內水系如圖 2。蒐集 1997 至 2002 年間氣象站資料，所得年均溫 22.8°C，年平均最高溫 26.5°C，七月平均溫度 32.9°C 為全年最高，月平均最低溫為 1 月之 12.9°C。1997~2002 之月平均最高最低溫度詳見圖 3。區內平均年降雨量為 2579 mm，其中以六至九月為主要雨季，佔總降雨量 53.06%，平均月降雨量詳見圖 4。

二、模式簡介

AnnAGNPS 為一分散式參數模式，將集水區劃分成無固定形狀之均質區域，意即模式會將集水區劃分成許多網格，且每一網格中之參數皆為單一值，而網格中之參數則是透過模式自行判斷決定，其判斷方式是將網格內每種參數以其中最具代表性的參數值作為該種類參數之值，也由於此種參數建立方式，使網格

具有均質性。模式模擬集水區內離開網格之逕流量、泥砂量、營養及農藥的傳輸。在此將模式應用之技術與原理，分成三個部分 (泥砂、水文、營養鹽)，分別說明其公式及引用來源。

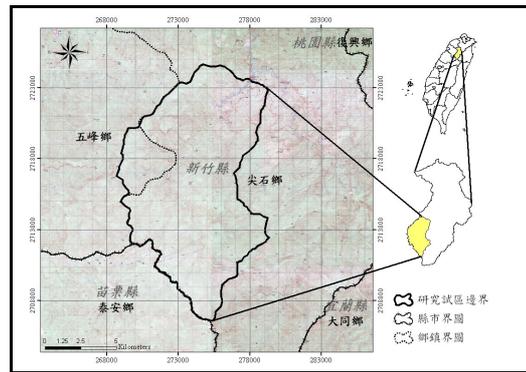


圖 1. 試區地理位置

Figure 1. Location of the study area

(一) 泥砂方面

1. 沖蝕量之推估

模式採用修正版通用土壤流失公式 RUSLE，並修改及簡化提升 AnnAGNPS 多網格連續模擬結果。這些修正包括：(1) 有能力處理複合網格；(2) 除去相同土地管理及土壤條件之多餘網格的計算；(3) 有能力處

理機械擾動下非農作地之輪作行為；(4) 計算田間每一個網格之泥砂遞移率；(5) 修正冰凍條件下之土壤沖蝕。修正版通用土壤流失公式，如下所列：

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中：

- A：年平均土壤流失量 (ton/acre.year)
- R：降雨沖蝕因子 (hundreds of ft-ton in/acre hour year)
- K：土壤沖蝕性因子 (ton acre hr/hundreds of acre ft-ton in)
- L：坡長因子
- S：坡度因子
- C：覆蓋管理因子
- P：水土保持措施因子

表 1. 地文因子

Table 1. Topographic information of the watershed

尺度類因子	集水區面積 (km ²)	118.77
	集水區周長 (km)	68.00
	集水區長度 (km)	17.10
	河川主流長度 (km)	26.35
	河川總長度 (km)	65.80
	河川數量	21.00
	平均高程 (m)	1887.92
	起伏量 (m)	2546.00
梯度類因子	平均坡度 (%)	63.82
	起伏比	0.15
形狀類因子	集水區寬度 (km)	4.51
	形狀因子	0.17
	密集度	0.57
	圓比值	0.32
	細長比	0.72
網路類因子	水系密度	0.55
	河川頻率	0.18

表 2. 水文因子

Table 2. The hydrologic information of the watershed

漫地流時間 (min)	1.57
渠道流時間 (min)	83.19
集流時間 (min)	84.76
I10_tc	74.66
I25_tc	85.29
I50_tc	93.33
I100_tc	101.38
Q10 (cms)	1847.26
Q25 (cms)	2110.32
Q50 (cms)	2309.32
Q100 (cms)	2508.31

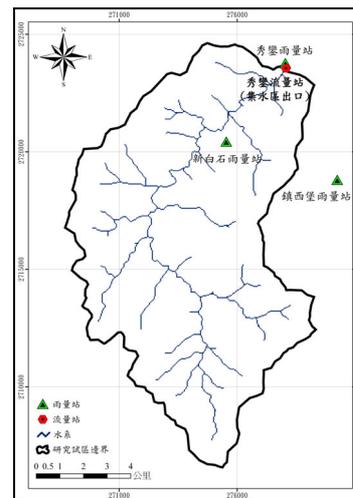
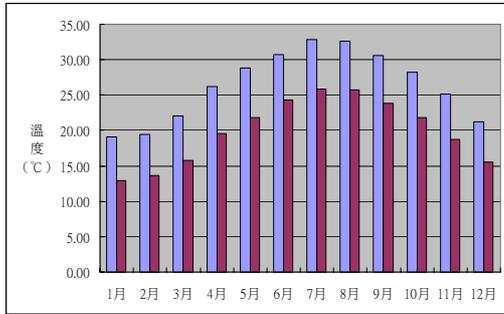


圖 2 水文站及氣象站分佈

Figure 2. Spatial distribution of hydrologic and climate stations

RUSLE 為一土壤沖蝕模式，適用於遭受雨滴飛濺與逕流沖蝕之特定坡度的田間土地，以及特定之作物與管理過程，預測長期平均年土壤流失量。RUSLE 參數 (K、LS、C、EI 及 P)，建立在非水體網格之經營管理循環，其最短模擬的時間間隔為 15 天。模式

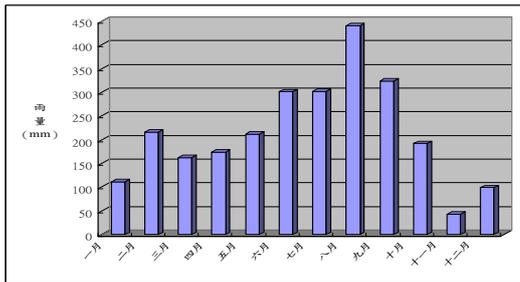
並不考慮 RUSLE 中 K 與 C 因子於 15 日內之變化，因其在 15 天期間變化並不顯著。



資料來源：中央氣象局

圖 3. 1997~2002 最高及最低月均溫

Figure 3. 1997~2002 Maximum and minimum monthly mean temperature



資料來源：中央氣象局

圖 4. 1997~2002 月平均降雨量

Figure 4. 1997~2002 Monthly mean precipitation

2. 泥砂遞移率

AnnAGNPS 執行模擬乃是於降雨、灌溉或融雪發生時，產生逕流事件以計算田間泥砂之遞移。RUSLE 僅用於預測層狀與紋溝沖蝕，然卻無預測田間之泥砂沉積的能力，而泥砂產量之遞移率乃是由土砂沖蝕運移至溪流；而於這個過程，乃利用水文-地質通用土壤流失方程式 (HUSLE)。

當已知上游之 RUSLE 參數、排水面積、

逕流體積、尖峰流量及 RUSLE 迴歸係數時，HUSLE 即能計算暴雨事件中集水區任一點之總泥砂產量。當排水區域為零時，集流時間亦為零。若排水區區域位於空間一位置時，RUSLE 假設層狀與紋溝沖蝕停止，集中逕流開始，集流時間趨近於零。利用五個類別的粒徑尺寸與沉降速度，可以推估出相對之沉積量。總遞移率方程式如下：

$$D_r = \left(\frac{q_{p,t_c > 0}}{q_{p,t_c = 0}} \right)^{0.95} \quad (2)$$

式中：

D_r ：總遞移率；

$q_{p,t_c > 0}$ ：欲知位置之尖峰流量 (mm/hr)；

$q_{p,t_c = 0}$ ：集流時間為零之尖峰流量 (mm/hr)。

最初此過程的發展能預測溪流系統中，使用者所自定之位置的總泥砂產量，並且合理的計算層狀與紋溝沖蝕之泥砂量。泥砂產量方程式如下：

$$S_y = 0.22 * Q^{0.68} * q_p^{0.95} * KLSCP \quad (3)$$

式中：

S_y ：泥砂產量 (Mg/ha)；

Q ：逕流體積 (mm)；

q_p ：地表逕流之尖峰流率 (mm/s)；

K 、 L 、 S 、 C 、 P ：RUSLE 之因子。泥砂濃度定義如下式：

$$C_s = S_m / W_m \quad (4)$$

式中：

C_s ：泥砂濃度 (Mg-泥砂/Mg-水)；

S_m ：泥砂量 (Mg)；

W_m ：上游集水區面積之水量 (Mg)。

於逕流歷線當中，泥砂濃度被視為常

數，因此在已知流量下之泥砂負荷量，可表示如下：

$$q_s = C_s \cdot q_w \quad (5)$$

式中：

q_s ：單位寬度之泥砂負荷量 (Mg/s/m)；

q_w ：任何時間下單位寬度之流量 (Mg/s/m)。

3. 泥砂傳輸力演算

泥砂傳輸力 (q_{sc}) 及單位寬度之流量 (q_w)，以上游末端的傳遞 (X_1) 參數為基礎，定義如下式：

$$U_* = [g \cdot d_w \cdot S_o]^{1/2} = g^{0.5} \cdot n^{0.3} \cdot S_o^{0.35} \cdot q_w^{0.3} \quad (6)$$

式中：

U_* ： X_1 之剪斷速度 (m/s)；

g ：重力常數 (9.81m/s²)；

d_w ： X_2 之水力深度 (m)；

S_o ：渠道坡度 (m/m)；

q_w ：單位寬度之流量 (m³/s/m)。

每一種顆粒大小之泥砂傳輸能力：

$$q_{sc} = \eta \cdot k \cdot \tau \cdot v_w^2 / v_f \quad (7)$$

式中：

q_{sc} ：單位寬度泥砂傳輸能力 (Mg/s/m)；

η ：有效傳輸因子 (無因次)；

k ：傳輸能力因子 (無因次)；

τ ：河床剪應力 (Mg/m²)；

v_w ：流速 (m/s)；

v_f ：顆粒沉降速度 (m/s)。

有效傳輸因子推估如下：

$$\eta = 0.322 \left[\frac{(r_p - r_w)}{(\tau / D_p)} \right]^{1.626} \leq 1 \quad (8)$$

式中：

r_w ：1.00，水的密度 (Mg/m³)；

r_p ：顆粒密度 (Mg/m³)；

D_p ：有效砂粒顆粒直徑 (m)。

河床剪應力計算如下：

$$\tau = r_w \cdot d_w \cdot S_o \quad (9)$$

式中：

d_w ：水力深度 (m)。

以 d_w 取代 q_w 得：

$$d_w = \left[\frac{(n \cdot q_w)}{(S_o^{0.5})} \right]^{0.6} = n^{0.6} \cdot S_o^{-0.3} \cdot q_w^{0.6} \quad (10)$$

$$V_w = Q_w / (W \cdot d_w) = q_w / d_w \quad (11)$$

式中：

n ：曼寧粗糙係數；

Q_w ：流量 (m³/s)；

W ：流通面積之寬度 (m)。

以式 (8) 取代式 (9) 得：

$$\eta = \left[C_1 / (n^{0.6} \cdot S_o^{0.7} \cdot q_w^{0.6}) \right]^{1.626} \leq 1 \quad (12)$$

且

$$C_1 = \{ [D_p / 2004] \cdot [(r_p - r_w) / r_w] \} \quad (13)$$

式中：

C_1 ：顆粒大小等級常數；

D_p ：顆粒直徑 (mm)。

當 $S_o \cdot d_w = C_1$ 且有效傳輸因子 (η) 等於 1 時，使用如下方程式：

$$q_{\eta} = \left[C_1 / (n^{0.6} \cdot S_o^{0.7}) \right]^{5/3} \quad (14)$$

式中：

q_{η} ：臨界單寬流量 (m³/s)。

總泥砂傳輸力方程式如下：

$$S_{sc} = \int_0^{t_{\eta}} (W \cdot q_{sc}) dt = W \cdot C_2 \cdot n^{-0.6} \cdot S_o^{1.3} \cdot q_p^{1.4} \cdot t_{\eta} / 2.4 \quad (15)$$

式中：

S_{sc} ：總泥砂傳輸量 (Mg)；

t_{η} ：臨界有效傳輸時間 (s)；

W ：流寬 (m)；

C_2 ：泥砂傳輸能力 η 為 1 時之顆粒大小等級常數 ($\text{Mg}\cdot\text{s}/\text{m}^4$)；
 q_p ：單位寬度之尖峰流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)；
 t_b ：基期 (s)。

延時 (歷線之基期) 為：

$$t_b = 20 \cdot \left[\frac{R \cdot D_a}{Q_p} \right] \quad (18)$$

式中：

t_b ：基期 (s)；

R ：地表逕流體積 (mm)；

D_a ：總排水面積 (ha)；

Q_p ：尖峰流量 (m^3/s)。

其中，尖峰流量之推求乃利用擴充之 TR55 及 TableCurve 2D 自動曲線配套軟體，以求得一組迴歸方程式。一般尖峰流量計算之迴歸方程式：

(二) 水文方面

1. 地表逕流量之推估

利用概念模式之演算法且以 SCS 曲線法為基礎，與 SWRRB 及 EPIC 模式相同。模式並沒有直接使用 CN 值計算逕流量，而是以土壤水分保存係數 S 間接計算逕流量，其計算方程式如下：

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (16)$$

式中：

S ：土壤水分保存係數 (mm)

CN：curve number

模式進行每日模擬時，土壤水分保存係數是以模擬當日計算該值，不同模擬日期之 S 值皆不同。

$$Q = \frac{(WI - 0.2S)^2}{WI + 0.8S} \quad (17)$$

式中：

Q ：逕流量 (mm)；

WI ：輸入土壤的水分 (mm)。

若 $WI > 0.2S$ ，則 Q 為零；若積雪存在，則 WI 等於融雪；若目前無積雪且無任何滴水灌溉的應用，則 WI 為每日降雨量。

2. 單位尖峰流量

AnnAGNPS 假設三角形歷線，乃根據 SCS 單位歷線法而產生歷線，其逕流事件之

$$Q_p = 277810^3 \cdot P_{24} \cdot D_a \left[\frac{a + (c \cdot T_c) + (e \cdot T_c^2)}{1 + (b \cdot T_c) + (d \cdot T_c^2) + (f \cdot T_c^3)} \right] \quad (19)$$

式中：

P_{24} ：降在總排水區域內之 24hr 有效雨量 (mm)；

T_c ：集流時間 (hr)； a 、 b 、 c 、 d 、 e 及 f ：單位尖峰流量之迴歸係數。

模式包括九種雨型，有：SCS 四種標準雨型 (I、Ia、II 及 IV)、均勻型 (有關融雪及灌溉回流) 及美國新墨西哥州的四種雨型，其中 SCS 四種假設之雨型，如圖 5 所示。

(三) 營養物方面

一般化學物質以兩相存在於黏粒尺寸之粒徑，有可溶性與吸附性兩種型態。AnnAGNPS 能識別的營養，有氮、磷及有機碳，其中氮和磷被認為是能以可溶性及吸附性兩種狀態同時存在，而有機磷被視為是不可溶解的，因此，僅無機磷易受平衡。

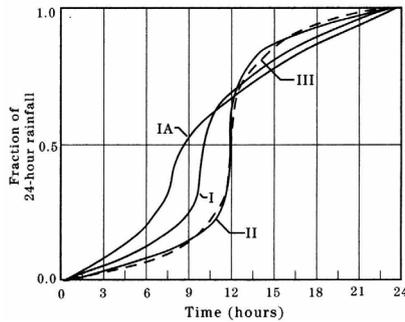


圖 5. SCS 24 小時雨型 (SCS TR55, 1986)

Figure 5. SCS 24-hour rainfall distributions

1. 泥砂吸附營養

從網格沖蝕之泥砂量所吸附之氮量，計

2. 可溶性氮

已知網格其逕流水中之可溶性氮量 (kg)，計算方程式如下：

$$m_{sN,cell} = 10 \cdot A_{cell} \cdot \Delta_w \cdot \left[(C_{N,S} + C_{N,F} + C_{N,R}) e^{(-k_{N,l} \cdot F_e / d_{sl} / POR)} (1 - e^{(-k_{N,r} \cdot Q / d_{sl} / POR)}) d_{sl} \cdot POR + C_{N,R} \cdot Q \right] \quad (22)$$

式中：

Δ_w ：水體密度 (kg/m³)；

$C_{N,S}$ ：土壤中殘餘可溶性氮濃度 (kg/kg)；

$C_{N,F}$ ：肥料應用之可溶性氮濃度 (kg/kg)；

$C_{N,R}$ ：雨水中之氮濃度；

算方程式如下：

$$m_{aN,j;cell} = c_{aN,s} \cdot m_{sec} \cdot ER \quad (20)$$

式中：

$C_{aN,s}$ ：泥砂顆粒所吸附之氮濃度 (kg/kg 泥砂)；

m_{sec} ：網格之泥砂沖蝕量 (kg)；

ER：肥料殘餘百分率。

$$ER = 7.4 [m_{sec} / (A_{cell} / 10000)]^{0.2} f_{trans} \quad (21)$$

式中：

A_{cell} ：網格面積 (m²)；

f_{trans} ：傳輸因子 (取決於土壤質地)。

$k_{N,r}$ ：逕流水中氮之萃取係數；

Q：逕流量 (mm)；

d_{sl} ：土壤表層之深度 (mm)；

F_e ：降雨入滲量 (mm)；

POR：土壤孔隙率。

3. 可溶性磷

已知網格其逕流水中之可溶性磷量 (kg)，計算方程式如下：

$$m_{sP,cell} = 10 \cdot A_{cell} \cdot r_w \cdot \left[C_{P,F} e^{(-k_{P,l} \cdot F_e / d_{sl} / POR)} (1 - e^{(-k_{P,r} \cdot Q / d_{sl} / POR)}) d_{sl} \cdot POR + C_{P,S} \cdot Q \cdot k_{P,r} \right] \quad (23)$$

式中：

$C_{P,F}$ ：肥料應用之可溶性磷濃度 (kg/kg)；

$C_{P,S}$ ：土壤中殘餘可溶性磷濃度 (kg/kg)；

$k_{P,r}$ ：逕流水中磷之萃取係數；

$k_{P,l}$ ：逕流水濾過磷之萃取係數。

農藥區可分為溶性與吸附性，以便進行農藥演算。農藥量的衰退，取決於適當的衰退率、水溫及傳遞時間，可溶性的農藥將可能經由入滲而減少，在上下游末端其農藥之傳遞，為沉積黏土之調整而平衡。

4. 農藥方面

三、模式所需參數

模式所需參數是由模式內建之資料預處理模式分別建立，資料預處理模式分為以下四個子模式：

1. AnnAGNPS 流網產生者 (TOPAGNPS)，計算由 DEM 所萃取的集水區資料。
2. AnnAGNPS 輸入編輯器 (Input Editor)，輸入 DEM 資料或由使用者自行鍵入 AnnAGNPS 輸入檔。
3. AGNPS 轉 AnnAGNPS 之轉換器，轉換存在的 AGNPS 檔案成 AnnAGNPS 格式。
4. GEM，產生 AnnAGNPS 需要之降雨及最大和最小溫度等氣候資料。

(一) 氣候

利用輸入編輯器模式建立所需要的氣象資料，其中包含氣象站的地理位置、每日之最高最低溫度、雲量、露點溫度、風速、降雨量，並透過 ArcView 3.2a 建立各氣象站控制範圍，以計算每一網格所屬氣象站之加權數值。

(二) 地形資料

地形資料來源為林務局農林航測所製作之數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 資料，將此資料轉為子模式 TOPAGNPS 所需之數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，試區之高程如圖六。透過 TOPAGNPS 建立之流網、臨界來源面積 (Critical Source Area, CSA)、最短來源渠道長度 (Minimum Source Channel Length, MSCL) 可決定網格面積大小以及形狀。本試區之 CSA 為 8ha，MSCL 為 130m，共分出 1936 個網格詳見圖 7。

(三) 土壤

模式必須對每一個網格建立其所屬的土壤資料，網格數過多時，可透過 Arc View 3.2a 空間分析模組將土壤資料嵌入網格資料中，但僅限於土壤代號，且每一網格只能建立一種土壤資料，模式會自行將網格中所佔百分比最高

的土壤種類定為該網格之土壤種類，詳細之土壤資料必須透過輸入編輯器模組對照土壤代號逐一輸入，模式所需之土壤資料包括：顆粒分佈、總體密度、反射率、飽和水力傳導度、田間含水量以及凋萎點，區內土壤基本資料來源為水土保持局所製作之電子地圖。

(四) 土地利用

土地利用資料建立方式與土壤資料建立方式相同。土地利用資料來源為北區水資源局所製作之土地利用圖，詳見圖 8。區內土地利用以天然林為主，佔全區 95.15%，其他分別為竹林佔 2.78%、人為用地佔 1.32% 以及水體佔 0.74%，土地利用關係到模式中許多參數的選擇，例如逕流係數的選擇。

四、CN 值選擇

初始逕流曲線數是根據每個網格中的土地利用、土地處理措施以及土地利用等資料決定，模式本身也會透過每天的土壤水分條件以及覆蓋情形對 CN 值進行調整，初始 CN 值參考資料如表 3。其中土壤水文特性為土壤排水性及土壤質地之組合，詳見表 4 及表 5。

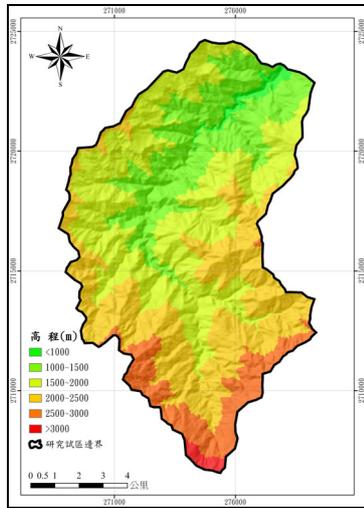


圖 6. 試區內高程分佈

Figure 6. The distribution of elevation classification

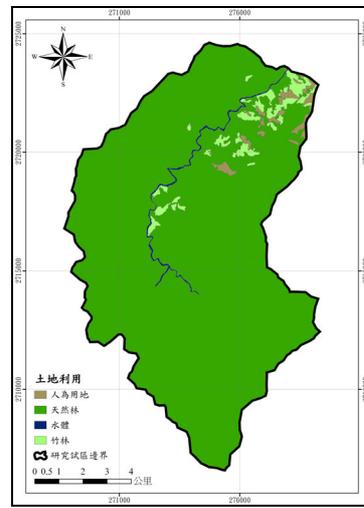


圖 8. 區內土地利用分佈

Figure 8. Spatial distribution of landuse

五、模式參數輸入架構

AnnAGNPS 模式之子模式：AnnAGNPS 輸入編輯器 (AnnAGNPS Input Editor) 主司彙整其他子模式所產生之集水區屬性資料，並將所有參數資料整合成模式執行之控制檔案：主要控制檔 (AnnAGNPS.inp) 及每日氣候資料檔 (DayClim.inp)，模式再對此二項控制檔案進行模擬。輸入編輯器所處理檔案類型包括 34 種不同種類之使用資料，每一種類資料底下皆包含許多項參數，其中包括執行 RUSLE 所需使用之各種參數，由於其中參數細項共有 400 多項，相當複雜，因此僅列出主要 34 種類資料，詳如表 6，而其中之氣候資料所需參數如表 7。各種類資料之處理過程及相關網絡架構如圖 10，圖中紅色虛線外框之表格代表模式計算 RUSLE 時所運用之參數。

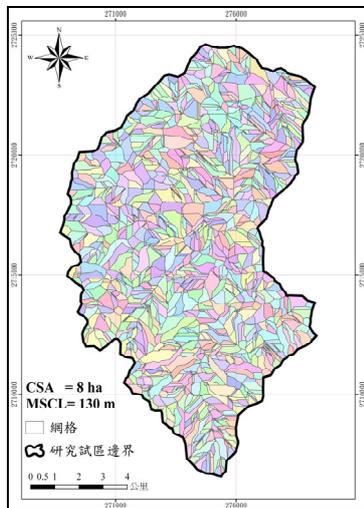


圖 7. 試區內網格分佈

Figure 7. Cells of the study watershed.

許桓碩、林家榮、鄭旭涵、林昭遠：年農業非點源污染模式（AnnAGNPS）推估集水區逕流量之適用性探討

表 3. 逕流曲線數

Table 3. The summary of CN values for runoff simulation

土壤水文特性 土地使用	A	B	C	D
建地	74	84	90	92
針葉林	25	55	77	77
地表水	94	93	95	96
旱田	62	71	78	81
公園、墓地	39	61	74	80
保安林	25	55	70	77
荒地	77	86	91	94
濕地	92	93	94	95
闊葉林	36	60	73	79
水田	70	79	84	88
果園	45	66	77	83
其他林地	38	62	74	80

資料來源：Dunne and Leopold, 1978

表 4. 水土保持局土壤質地分類

Table 4. The soil classification recommended by the Soil and Water Conservation Bureau

分類	土壤質地
0	粗砂土、砂土
1	細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土
2	壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土
3	極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土
4	坊質壤土、坊土
5	壤土
6	砂質黏壤土
7	黏質壤土、坊質黏壤土
8	坊質黏土、砂質黏土
9	黏土

資料來源：農委會水土保持局

表 5. 水土保持局土壤分類對應之 SCS 土壤分類

Table 5. The summary of soil classification vs. SCS soil classification recommended by the Soil and Water Conservation Bureau

台灣水土保持局	SCS
0、1、2、3	A
5、4	B
6	C
7、8、9	D

資料來源：農委會水土保持局

表 6. AnnAGNPS 輸入資料種類

Table 6. AnnAGNPS Input Files

資料種類	檔案名稱
檔案識別	AnnAGNPS 識別 集水區資料
模擬期間資料	模擬期間資料
網格相關資料	網格資料 網格概況資料
現地相關資料	現地相關 現地管理資料 經營資料 經營參考資料 等高耕作資料 灌溉應用資料 肥料應用資料 農藥應用資料 帶狀作物資料
傳遞相關資料	傳遞資料 傳遞幾何係數 營養傳遞半衰期 積水資料
其它成份資料	飼育場資料 飼育場管理資料 溝壑資料 點源資料
參考資料	作物資料 肥料參考資料 土地使用參考資料 農藥參考資料 逕流曲線數資料 土壤資料
輸出相關資料	整體輸出明細 傳遞輸出明細 總結明細 確認資料
結束資料	結束資料
獨立資料	每日氣候資料

資料來源：胡毓解（2004）

表 7. 每日氣候資料參數

Table 7. Daily Climate Data

氣候資料	參數
	降雨量
	最大氣溫
	最小氣溫
	相對溼度
	雲量
	風速

資料來源：胡毓解（2004）

六、研究流程圖

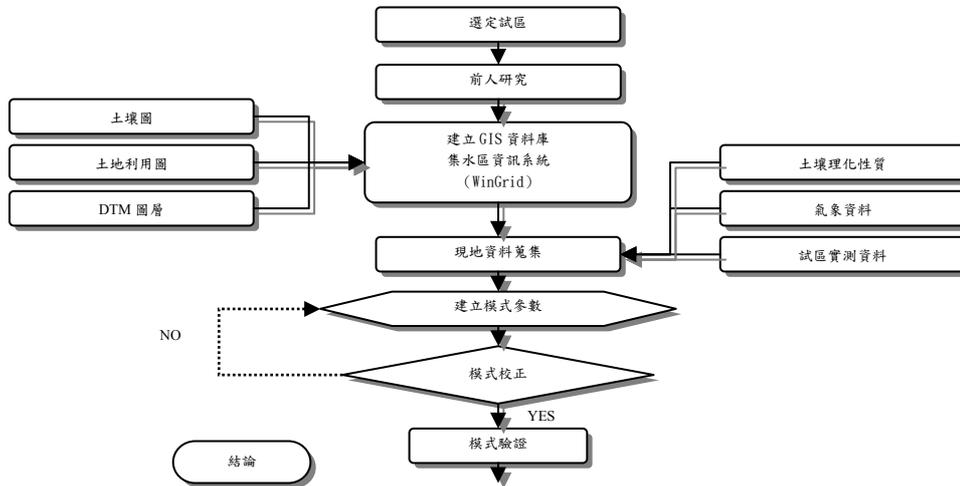
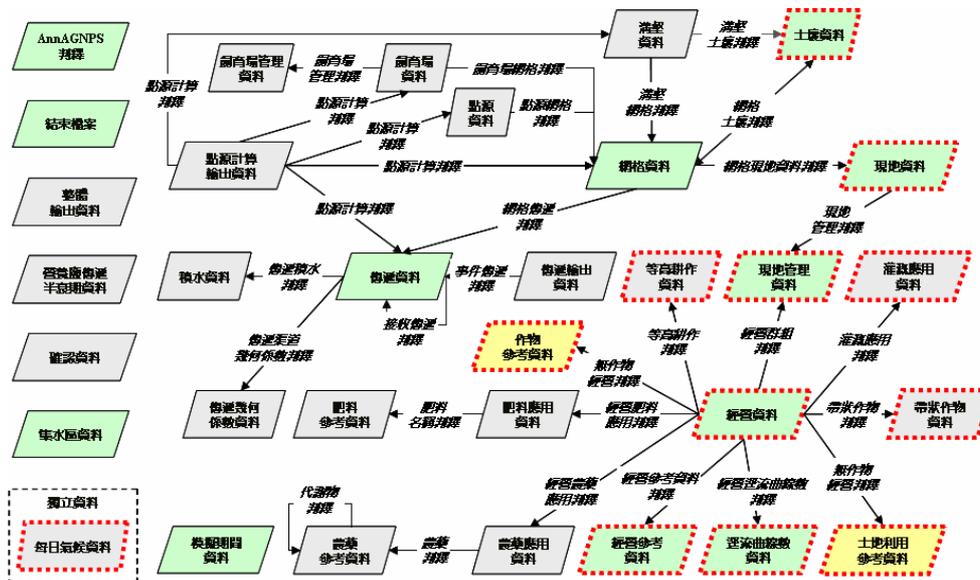


圖 9. 研究流程

Figure 9. The flow chart of this study



資料來源：AnnAGNPS TECHNICAL PROCESSES (2005)

圖 10. AnnAGNPS 主要輸入檔案種類網絡圖

Figure 10. AnnAGNPS Input Header Section Links

貳、結果與討論

一、模式校正

Shephard and Geter (1995) 指出：農業非點源污染模式中的獨立變數是複雜且互相依存、影響，因此模式將不進行校正。此外，模擬集水區水文歷程之模式：AnnAGNPS 被設計成可以完整描述集水區特性的模式，所以模式已足夠用來處理可經由測量得知的集水區特性與集水區概況。因此，並不需要對模式進行正式的校正 (Baginska et al., 2003)。但 Ndiritu and Daniell (1997) 指出：在模式運用上，校正有可能是最重要的步驟之一，特別是模擬集水區水文歷程的這類模式。因此，本研究以 1997 年至 1998 年的資料進行模式校正，修正模式的參數，將模式的推估值與實測值誤差減至最小，以提高模式的準確性。

模式初次進行模擬所模擬出之事件中，有許多場事件是在發生在連續多日降雨中，但模式基本假設中提到模式並無法跨日進行模擬，此假設造成模式在面對連續多日降雨時，將整場降雨事件判斷成多日獨立降雨事件，使得模式在此種條件下得到之結果相當無法信賴，但本研究旨在探討與不同地理條件下模式之適用性，因此將此種條件下之事件分離，僅針對單日降雨所引發之逕流事件進行討論。

要在模式眾多參數中挑選出敏感度最高之參數相當耗時費力，因此考慮到模式模擬逕流量公式中之先決因子 SCS—CN。Hassen (2004) 指出 SCS—CN 值是模式準確預估逕流量及泥砂量的重要因子，本研究之實測資

料來源為位於集水區出口之秀巒流量站所提供 1997 年 1 月至 12 月間每日流量資料，先以表 3 至表 5 之資料建立初始 CN 值，再利用試誤法持續對該值進行修正，修正方式為分別對不同土地利用之 SCS—CN 值進行 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 之修改，直到模式模擬結果接近於實測流量。CN 值增加 5%，模式平均誤差由初始平均誤差之 405.39% 降至 320.63%，CN 值增加 10% 時，則降至 245.99%，當 CN 值減少，平均誤差值皆會增加，在此不予贅述，但此結果並不代表其他條件下亦是如此，當初始 CN 值增加 15%，模式誤差可降至最低，最後所得之平均誤差為 58.15%，校正後推估值與實測值關係如圖 11，迴歸分析後得 R^2 為 0.9274，迴歸分析如圖 12。

針對模式所模擬出之逕流事件，探討其土地利用、土壤及雨量與誤差量之關係，由於區內土地利用與土壤近乎於只有單一種，無法與誤差量進行比較，其中之關係需要透過小試區配上多種土地利用與土壤資料才能進行討論。而在雨量方面，將每場事件之雨量與誤差量繪製其關係如圖 13，以誤差百分比為 Y 軸，雨量為 X 軸繪製散佈圖如圖 14。圖表可分成兩個區域，以雨量 50mm 作為分隔線，當雨量超過 50mm 時，誤差量皆在 100% 以內，但是在雨量小於 50mm 時，誤差量百分比則分散於 0%~522.88% 之間。由此可知，可將降雨量 50mm 設定為模式於此集水區之降雨量門檻值，當單日降雨量大於門檻值時，模式之模擬結果具有一定之信賴度，而門檻值大小與模式中參數之相關性則須針對各單場事件進一步研究才能確定。

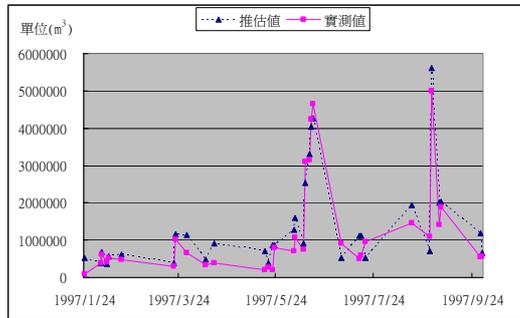


圖 11 校正期間推估值與實測值之對照
 Figure 11. Comparison of observed and predicted runoff amount (Calibration phase)

二、模式驗證

模式驗證即是探討模式之適用性最重要的步驟，校正的目的在於確定參數的正確性，一旦校正結束，模式中之參數即不可再行更動，因此將校正過後的參數與新建立的1998年一月至十二月間的氣象資料輸入模式中，直接進行模式驗證。

模式模擬時，同樣出現多場在連續多日降雨條件下之事件，也同樣將此類事件分離後才進行分析，以確定驗證是在相同條件下進行。

驗證期間模式模擬出之逕流事件中，推估值與實測值之事件表如表 8，對照圖如圖 15，平均誤差為 77.48%，迴歸分析後得 R^2 為 0.8731 如圖 16 所示。此一結果顯示模式模擬出之逕流量與實測之逕流量有高度關係，從圖表上可看出事件與實際發逕流事件有相近之趨勢，雖然誤差量較驗證期間增加，但仍在可接受之範圍內。

透過兩年間之連續模擬結果，扣除掉連續降雨導致之事件誤差，所得到之結果證明模式在無連續多日降雨之條件下描述集水區

逕流現象上是可以被信賴的，若能將無連續多日降雨條件克服，將能使模式更趨完整。

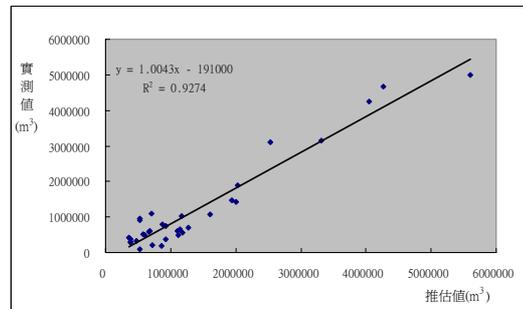


圖 12 校正期間逕流事件迴歸分析
 Figure 12. Regression analysis for observed and predicted amount of runoff (Calibration phase)

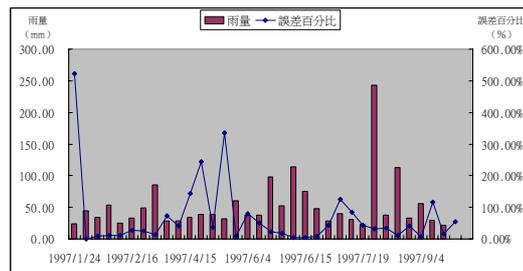


圖 13 校正期間逕流事件雨量與誤差百分比關係圖
 Figure 13. Comparison of event-based precipitation and deviation (Calibration phase)

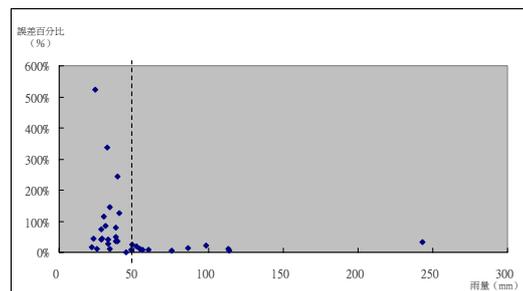


圖 14 校正期間逕流事件雨量與誤差百分比散佈圖
 Figure 14. Scattergrams of event-based precipitation and deviation (Calibration phase)

表 8 驗證期間逕流推估值與實測值事件表
Table 8. Event-based measured and predicted runoff amount (Validation phase)

日期	雨量 (mm)	逕流量(m ³)		誤差百分比 (%)
		推估值	實測值	
1998/1/14	55.00	93475.76	55296.00	69.05%
1998/1/17	41.00	1005276.74	450144.00	123.32%
1998/1/24	27.00	490731.26	291168.00	68.54%
1998/2/5	25.00	601556.44	309312.00	94.48%
1998/2/6	30.00	1251071.16	742176.00	68.57%
1998/2/7	30.00	2042943.46	1678752.00	21.69%
1998/2/14	37.00	627547.58	406080.00	54.54%
1998/2/21	51.00	2495677.51	3129408.00	-20.25%
1998/2/23	88.00	3633746.57	3205440.00	13.36%
1998/2/27	18.00	1043339.91	1529280.00	-31.78%
1998/2/28	36.00	2685003.86	2365632.00	13.50%
1998/3/4	28.00	953690.26	1213920.00	-21.44%
1998/3/10	75.00	2958702.48	2494368.00	18.62%
1998/3/11	82.00	5331482.79	5079456.00	4.96%
1998/3/16	18.00	460782.07	1172448.00	-60.70%
1998/4/26	58.00	343821.93	185760.00	85.09%
1998/5/4	44.00	245992.32	199584.00	23.25%
1998/5/9	40.00	390196.99	185760.00	110.05%
1998/5/17	35.00	180222.85	117504.00	53.38%
1998/5/20	33.00	1283065.33	365472.00	251.07%
1998/5/25	27.00	237812.37	227232.00	4.66%
1998/6/4	24.00	549112.38	309312.00	77.53%
1998/6/5	44.00	1012928.96	838944.00	20.74%
1998/6/6	28.00	1179826.40	2003616.00	-41.12%
1998/6/7	28.00	1683817.10	1213920.00	38.71%
1998/8/1	33.00	91364.81	75168.00	21.55%
1998/8/2	21.00	497723.80	108000.00	360.86%
1998/8/7	31.00	180486.72	82944.00	117.60%
1998/8/27	33.00	244211.20	108000.00	126.12%
1998/8/30	47.00	505705.85	213408.00	136.97%
1998/9/1	35.00	1170986.77	365472.00	220.40%
1998/9/9	73.00	994919.86	406080.00	145.01%
1998/9/28	115.00	1774852.07	1213920.00	46.21%
1998/9/29	25.00	1993599.87	2494368.00	-20.08%
1998/10/5	53.00	2702419.25	2120256.00	27.46%
1998/10/15	109.00	2187807.80	1213920.00	80.23%
1998/10/25	32.00	974206.11	711936.00	36.84%
1998/12/21	31.00	191635.21	149472.00	28.21%
1998/12/23	19.00	462827.06	61344.00	654.48%
平均	42.54	1198835.15	1002417.23	77.48%

本研究並不是以模式最適用之多年模擬條件（十年以上）下進行，若將模式用在多年模擬，其結果或許將大大改變，但要進行多年模擬必須收集相當完整之參數資料，由於台灣地區地形較為陡峭，許多現地資料在蒐集上相當不易，因此在台灣地區要進行更深入之適用性探討必須先行解決資料彙整之

問題。

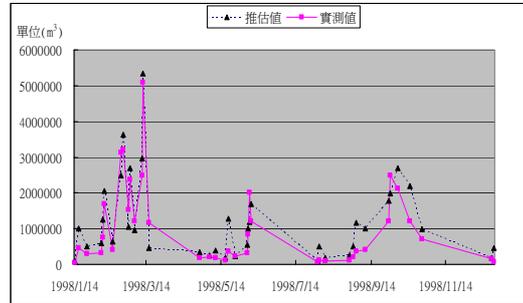


圖 15 驗證期間推估值與實測值之對照
Figure 15. Comparison of observed and predicted runoff amount (Validation phase)

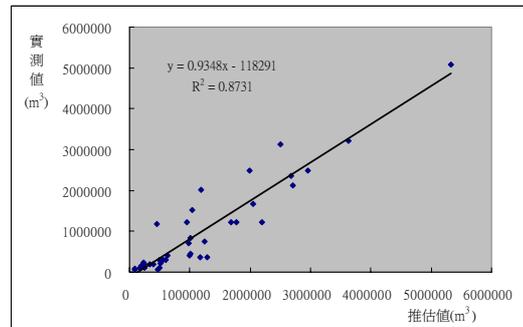


圖 16 驗證期間逕流事件迴歸分析
Figure 16. Regression analysis for observed and predicted amount of runoff (Validation phase)

參、結論與建議

模式所使用的公式乃是國外學者根據標準試區實驗所得之經驗公式，因此模式在模擬本研究試區這類非標準試區時，本就無法期待推估值與實測值完全吻合，模式本身是以描述集水區特性為主要目的，若推估值與實測值有相當之關連性，且可描述各種水文現象在集水區內的歷程時，即代表模式有其適用性。由結果與討論中得知：1、在無連續降雨條件下 AnnAGNPS 模式在模擬逕流量方面，模擬期間 $R^2=0.87$ ，代表推估值與實測

值具有相當之相關性，此一結果相當令人滿意，也證明模式在無連續降雨條件下之模擬逕流確有其適用性。2、SCS—CN 值在模式中雖然沒有被直接使用，但在校正過程中發現該值影響模擬結果最大，在模式校正之初，平均誤差為 405.39%，當 CN 值增加 5% 即可將誤差縮小為 245.99%，直到 CN 值增加 15% 時，平均誤差縮小至 58.15%。3、模式限制中提到模式只能以日為單位進行模擬，並不能跨日進行模擬，且模式假設當日降雨是以內建之雨型在集水區內平均分佈，因此無法建立每場降雨之特殊雨型，基於上述各種限制，當集水區內降雨橫跨一日以上時，將被模式判讀成以日為單位之獨立降雨事件，且由於此種判讀方式，將忽略集水區內的遲滯現象以及錯判土壤水分條件，此種現象所帶來之影響在模式校正與驗證期間都有發現，且集水區面積越大時遲滯現象越顯著，因此集水區面積大小與模式的適用性有待進一步研究。4、模式在雨量與誤差關係圖中顯示：模式在模擬事件時會出現一雨量門檻值現象，當雨量大於此門檻值，亦即高雨量事件時，模擬結果誤差量百分比皆低於 100%，表示在高雨量事件之模擬結果是可信賴的。但並不代表每一集水區皆可用此雨量做為門檻值，因各集水區之特性、參數皆不相同，在未能確定門檻值與各參數間之關係前，針對不同集水區應進行比較及分析才能確定其值。

由於模式需要資料過於龐大，在資料輸入時雖有模式內建之子模式可幫助檔案建立，但其是以逐日輸入方式建立氣象資料，每一種資料按照內建格式逐一輸入各參數，以模式結構來說，34 種資料搭配 400 多個參

數，以此種方式輸入資料難免使人覺得耗時費力，期能發展出方便使用者操作之外掛模組，減少建檔時間與降低錯誤機率。

AnnAGNPS 模式特別注重參數正確與否，在使用此模式進行集水區各種規劃之前，應先瞭解此模式所需之詳細資料，建立完整試區資料庫後才可開始使用，且每一個集水區皆是不同自然單元，因此其中的參數也不盡相同，校正是模式使用前相當重要的一個步驟，建議使用者能先針對試區進行模式校正，取得合適之參數再進行模擬，才能得到較合理之模擬結果。

肆、參考文獻

1. 林俐玲、陳勝全 (1998) 農業小集水區開發整治後土壤流失量與逕流之評估。水土保持學報, 30 (2): 143-175。
2. 林俐玲、廖秀華 (1992) 應用地理資訊系統推估土壤沖蝕潛能。水土保持學報, 24 (1): 13-37。
3. 胡毓解 (2004) 「農業非點源污染模式之應用—以萬安溪集水區為例」, 國立屏東科技大學水土保持系碩士論文, p74-76
4. 張文章、陳清田、陳錦媽、劉正川 (1994) 泥岩地區大規模開發對坡地沖蝕之研究。中華水土保持學報, 25 (1): 9-18。
5. 游繁結、洪毓華 (1992) AGNPS 模式應用於小集水區推估土壤流失量與逕流量之探討。水土保持學報, 24 (2): 35-56。

6. 盧光輝、姜善鑫（1990） 農業非點源污染模式在大湖小農業集水區之應用。中華水土保持學報，21（1）：62-72。
7. Ambar, K., and Mitchell, B. (1997) Soil erosion and sediment yield in forest and agroforestry areas in West Java, Indonesia. *Journal of Soil and Water Conservation*. 52(4) : 376-380.
8. Baginska, B., Miline-Home, W., and Cornish, P.S. (2003) Modelling nutrient transport in Currency Creek, NSW with AnnAGNPS and PEST. *Environmental Modelling and Software*. 18 : 801-808.
9. Engel, B.A., Srinivasan, R., Arnold, R., Rewerts, J., and Brown. S.J. (1993) Non-point source pollution models to the spatial arrangement of the landscape. *Hydrology Process*. 11 : 241-252.
10. Grunwald, S., and Norton, L.D. (2000) Calibration and validation of a non-point source pollution model. *Agricultural Water Management*. 45 : 17-39.
11. Hassen, M., Fekadu, Y., and Gete, Z. (2004) Validation of agricultural non-point source (AGNPS) pollution model in Kori watershed, South Wollo, Ethiopia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 6, Issue 2 : Pages 97-109.
12. Jennifer, B.S., George, V., David, B., Richard, L., Usery, E.L., and Joseph, M.S. (2001) Use of AnnAGNPS model for a watershed in the coastal plain of Georgia. 27-30 August, 2001, 9th National Nonpoint Source Monitoring Workshop.
13. Lenzi, M.A., and Luzio, M.D. (1997) Surface runoff, soil erosion and water quality modelling in the Alpone watershed using AGNPS integrated with a Geographic Information System. *European Journal of Agronomy*. 6 : 1-14.
14. Mostaghimi, S., Park, S.W., Cooke, R.A., and Wang, S.Y. (1997) Assessment of management alternations on a small agricultural watershed. *Water Resource*. Vol. 31. No. 8 : 1867-1878.
15. Ndiritu, J.G., and Daniell, T.M. (1997) An improved genetic algorithm for rainfall-runoff model calibration and function optimization. In: *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation MODSIM'97*, vol. 4, pp. 1683-1688.
16. Rode, M., and Frede., H.G. (1997) Modification of AGNPS for agricultural land and climate conditions in central Germany. Published in *J. Environ. Qual.* 26 : 165-172.
17. Ronald, L.B., and Theurer, F.D. (2001) AnnAGNPS Technical Processes. USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory.
18. U.S. Soil Conservation Service. (1986) Technical Release 55 :

19. Urban hydrology for small watersheds. Soil Conservation Service, USDA.
20. Shrestha, S., Mukand S. Babel, Das Gupta, A., Kazama, F.(2005) Evaluation of annualized agricultural nonpoint source model for watershed in the Siwalik Hills of Nepal. Environmental Modelling and Software. Volume 21, Issue 7, July 2006, Pages 961-975.
21. Shepherd, R.G., and Geter, W.F., 1995. Verification,calibration,validation,simulation: protocols in groundwater and AGNPS modeling.In: Proceedings of the International Symposium: Water Quality Modeling, April 2e5, Orlando, Florida. American Society of Agricultural Engineers, pp. 87-91.
22. Yong, P.Y., L.B. Ronald, and A.R. Richard. (2003) Evaluation of AnnAGNPS nitrogen loading in an agricultural watershed. Journal of the American water resource association. 39 (2) : 457-466.
23. Young, R.A., C.A. Onstad, D.D. Bosch, and W.P. Anderson. (1989) AGNPS : A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation. 44 (2) : 168-173.

96 年 7 月 28 日 收稿

96 年 10 月 10 日 修改

96 年 10 月 17 日 接受