

以AnnAGNPS模式評估集水區不同管理措施之效益

林昭遠⁽¹⁾ 嚴雅郁⁽²⁾ 林家榮⁽³⁾

摘要

年農業非點源污染模式 (ANNualized AGricultural NonPoint Source model, AnnAGNPS) 是由單場暴雨事件的 AGNPS 模式發展而成之連續模擬模式，與地理資訊系統(GIS)結合，可快速載入地面資料減少資料處理時間，使其能夠更簡便地使用模式。本研究利用 AnnAGNPS 模式模擬不同管理作業對泥砂產量、沖蝕量及逕流量之改善效益，分別進行陡峭區位農地回收及水系周邊配置緩衝帶之管理作業配置。結果顯示：陡峭區位農地回收對於泥砂產量及沖蝕量的改善效率分別為 30.23% 及 30.61%，而逕流量的減少則以水系周邊配置緩衝帶效果較佳；陡峭區位農地回收之單位面積改善效率皆優於水系周邊配置緩衝帶，說明集水區中農業活動的減少及林地的增加有助於減少集水區內之土砂災害。

(**關鍵詞**：年農業非點源污染模式、集水區管理措施、土砂災害)

Assessment of Benefit for Different Watershed Management Practices Using AnnAGNPS Model

Chao-Yuan Lin ⁽¹⁾

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

Ya-Yu Yen ⁽²⁾

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

Chia-Rung Lin ⁽³⁾

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

Abstract

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

AnnAGNPS model is developed based on the single event AGNPS model. An integrated GIS interface can input ground data quickly and reduce the time of data processing. The interface makes model manipulation more efficient and convenient. In this study, AnnAGNPS model is used to simulate the improved benefits of sediment yield, soil erosion and runoff for different management practices. The different management practices include farmland retrieve for reforestation at steep area and implementing the riparian buffer strips. The results show that the derived efficiency of farmland retrieve for reforestation and establishing the riparian buffer strips are 30.23% and 30.61%, respectively. Implementing the riparian buffer strips has better reduction rate of runoff. Comparing improved efficiency of unit area, all efficiencies of farmland retrieve for reforestation are better than the riparian buffer strip implementation. As point out by study results, decrease of agricultural activities and increase of forestation may mitigate debris hazards in a watershed.

(**Keywords** : AnnAGNPS, Watershed management practices, Debris hazards)

前言

年農業非點源污染模式 (ANNualized AGricultural NonPoint Source model, AnnAGNPS) 是由單場暴雨事件的 AGNPS 模式發展而成之連續模擬模式，與地理資訊系統(GIS)結合，可以快速載入地面資料減少資料處理時間，使其能夠更簡便地使用模式。AnnAGNPS 模式正處於推廣之初，台灣應用極少，國外目前積極利用 AnnAGNPS 模式評估集水區泥砂產量及逕流量之預測，如：洪華生 等 (2005) 在中國九龍江流域進行農業非點源污染負荷估算和管理措施的模擬，結果顯示坡地種植回收造林後及香蕉地改種雙季稻，對地表逕流、泥砂、總氮和總磷負荷皆有顯著的削減率；黃金良 等 (2005) 在中國九龍江的小流域評估 AnnAGNPS 模式的適用性，結果顯示地表逕流輸出模擬偏差多在±10%以內，說明模式對地表逕流的模擬能力較強，泥砂輸出結果則有較大的不確定性；Shrestha *et al.* (2006) 在尼泊爾的集水區進行模式適用性評估，對逕流量、洪峰流量及泥砂產量之推估值與實測值進行探討，結

果顯示逕流量的模擬誤差在可容許範圍內，指出模式內建之 SCS—CN 值公式適合用於推估逕流量；賈寧鳳 等 (2006) 在山西省磚窯溝流域以 AnnAGNPS 模式模擬流域長期的逕流量和泥砂量，指出逕流量和泥砂量的相對誤差分別為 10%和-10%，均在容許誤差範圍內，顯示模式可以理想地對水土流失進行預測；程炯 等 (2007) 在珠江三角洲小流域進行研究，結果顯示逕流量、總氮及總磷的模擬效果良好，最大及最小模擬偏差分別為 34.34%、1.4%，研究中指出雨量愈大時模擬效果越好；Polyakov *et al.* (2007) 在夏威夷評估 AnnAGNPS 於熱帶地區的適用性，結果顯示逕流量及泥砂量之實測與模擬值呈高度相關，而當模擬的時間單位越大時，模式預測的準確度越高；此外，文中亦對根系鮮重、冠層的垂直高度、土壤沖蝕度、地面殘株覆蓋率、天蓬覆蓋率進行敏感度分析，結果顯示地面殘株覆蓋率與天蓬覆蓋率對泥砂量呈高度相關。國外多篇研究皆指出 AnnAGNPS 模式模擬結果極佳，可應用於集水區的非點源污染之管理及預測，可以廣泛推行使用於各集水區進行模擬。

本研究利用 AnnAGNPS 模式模擬薑麻園集水區之逕流量及泥砂量，並依據山坡地可利用限度分類標準，宜農牧地限定坡地為 55% 以下，55% 以上應實施造林，避免開發造成的土壤沖蝕等自然災害，擬定 55% 以上農地回收造林方案，以及在水系周邊配置 40 米緩衝帶，評估兩方案之效益，依據集水區的模擬結果，予以配置適合的處理方案，提供管理者重點治理區域的決策依據。

總面積之 39.7%，其次為石質土、崩積土、紅壤、黃壤（詳見圖 6）。

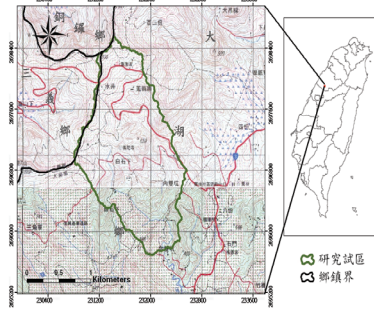


圖 1 試區地理位置

Figure 1. Location of the study area

壹、材料與方法

一、研究試區概述

(一) 地形

薑麻園集水區位於苗栗縣大湖鄉栗林村，屬於鯉魚潭水庫上游景嘯山溪之支流（圖 1），本集水區總面積約為 285.90ha，其地勢由北向南漸緩，海拔約為 299~856 公尺間，以 400~700 公尺區位佔集水區總面積之 71.54% 為主（高程分布詳見圖 2）。以山坡地可利用限度分類標準，集水區坡度之空間分布區以 55%~100% 為主，約佔集水區總面積之 32.94%（坡度分布詳見圖 3）。坡向分布以東坡向為主，約佔 21.18%（坡向分布詳見圖 4）。

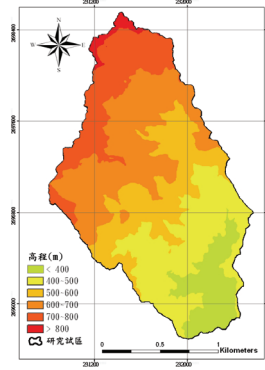


圖 2 高程分布

Figure 2. Spatial distribution of elevation classification

(二) 土地利用

集水區內之土地利用以闊葉林為主，約佔集水區總面積之 40.01%，其次為竹林、果園，分別佔集水區總面積之 23.75%、18.40%（如圖 5 所示）。

(三) 土壤

土壤分布主要有石質土、紅壤、崩積土、黃壤、雜地。其中雜地分布最廣，佔集水區

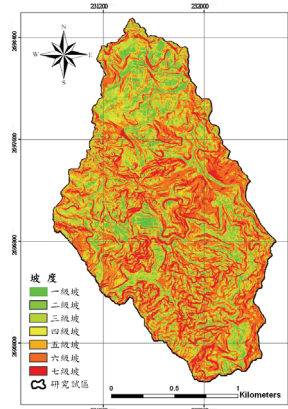


圖 3 坡度分布

Figure 3. Spatial distribution of slope classification

(四) 氣象水文

氣象水文資料採用 2001~2003 年南湖氣象站、卓蘭(2)、大湖(1)和三義(2)雨量站資料進行分析，其年均溫 23.0℃、年平均最高溫 26.6℃，年平均最低溫 20.1℃，集水區內年平均降雨量為 1445 mm，其中以五至九月為主要雨季，佔總降雨量 79.20%。

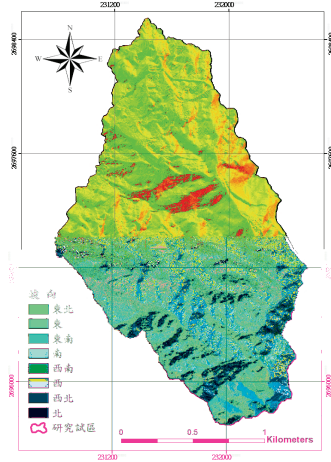


圖 4 坡向分布

Figure 4. Spatial distribution of aspect classification

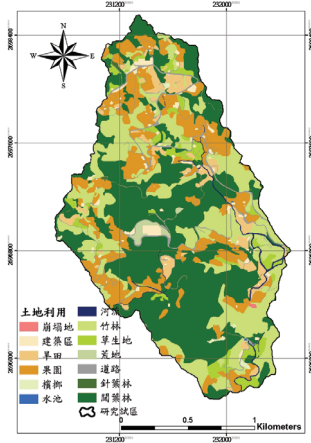


圖 5 土地利用分布

Figure 5. Spatial distribution of landuse classification

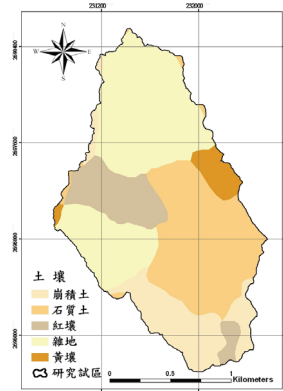


圖 6 土壤分布

Figure 6. Spatial distribution of soil classification

二、模式簡介

AnnAGNPS 為一分布式參數模式，其與 AGNPS 最大的不同，即依據輸入之臨界來源面積 (Critical Source Area, CSA) 與最短來源渠道 (Minimum Source Channel Length, MSCL) 將集水區劃分成許多形狀不均勻之網格，且每一網格中之參數皆為單一值，而網格內之土壤類型及地覆情況則是透過模式自行判斷決定，其判斷方式是將網格內分布最具代表性之參數當作為該網格參數之值，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，其公式原理說明如下：(AnnAGNPS Technical Processes, 2005)。

(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。

2. 泥砂遞移率

當降雨、灌溉或融雪產生逕流事件時，AnnAGNPS 模擬計算田間泥砂之遞移。由於RUSLE 僅能用於預測層狀與紋溝沖蝕，並未考慮田間之泥砂沉積，因此泥砂產量之遞移過程，乃利用水文-地質通用土壤流失方程式 (HUSLE)。HUSLE 利用上游之 RUSLE 參數、排水面積、逕流體積、尖峰流量及 RUSLE 迴歸係數，計算暴雨事件中集水區任一點之總泥砂產量。而遞移率可由兩點尖峰流率比值求得，公式如下：

$$D_r = \left(\frac{q_{p1}}{q_{p2}} \right)^{0.95} \quad (2)$$

式中：

- D_r ：總遞移率；
- q_{p1} ：第一點之尖峰流率 (mm/s)；
- q_{p2} ：第二點之尖峰流率 (mm/s)。

3. 泥砂產量

此過程最初發展是為了能夠預測溪流系統中，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。

(二) 水文方面

1. 地表逕流量之推估

模式利用概念模式之演算法且以 SCS 曲線法為基礎，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 不為零；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：

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

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 7 所示。本研究採用雨型 III，其降雨特性為高強度短延時，與台灣降雨型態相似。

三、模式輸入參數

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。

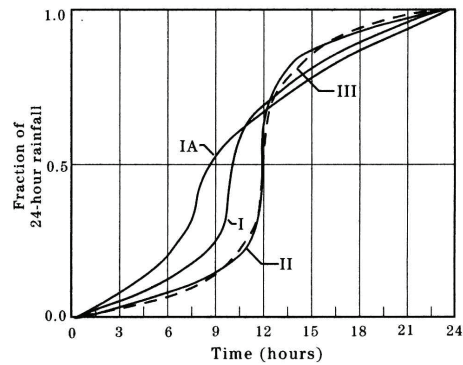


圖 7 SCS 24 小時雨型 (SCS TR55, 1986)

Figure 7. SCS 24-hour rainfall distributions

(一) 氣候資料

利用輸入編輯器建立氣象資料，其中包含氣象站的經緯度、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

地形資料採用 2m×2m 之數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，將此資料透過子模組 TOPAGNPS 建立流網、臨界來源面積 (CSA) 及最短來源渠道長度 (MSCL)，決定網格面積大小以及形狀。

利用 CSA 及 MSCL 決定出網格，而每一個網格內所代表的地覆類型僅為一種，決定方法取決於網格內面積較具優勢之地覆，所以面積比例較少之地覆類型會被忽略，利用 Kappa 指標評估網格劃分前後土地利用的一致性，決定出適用之 CSA 及 MSCL，Kappa

值介於 0~1 之間，Kappa 值越大代表一致性越高，如圖 8 所示。

臨界來源面積 CSA 決定了網格的數目，CSA 越小網格數目越多，模式執行時間會越長，CSA 等於 0.3ha 時比 CSA 為 0.5ha 時多出 997 個網格，Kappa 僅提升 0.05，但模式所需時間卻是數倍，不符合時間成本，故選擇 CSA 為 0.5ha，MSCL 為 10m，共分出 1518 個不同形狀之網格（詳見圖 9），Kappa 值為 0.57，已具有不錯的一致性。

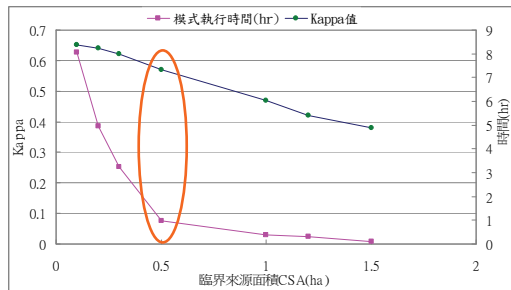


圖 8 Kappa 分布

Figure 8. Kappa of different CSA

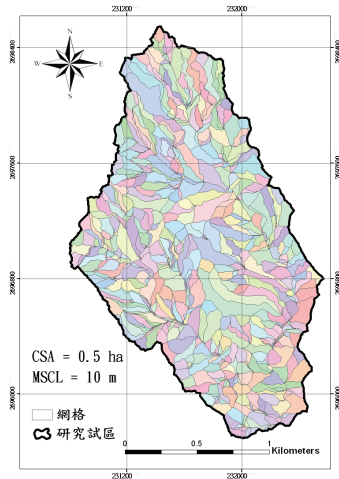


圖 9 試區內網格分佈

Figure 9. Cells of the study watershed

(三) 土壤資料

土壤資料透過 Arc View 3.2a 空間分析模組嵌入網格資料中，但僅是土壤代碼，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面積最高的土壤類型定為該網格之土壤種類，土壤的詳細資料經由輸入編輯器模組對照土壤代碼逐一輸入，模式所需之土壤資料包括：顆粒分布、總體密度、飽和水力傳導度、田間含水量及凋萎係數...等，參考資料如表 1 所示。

(四) 土地利用與 CN 值資料

土地利用資料建立方式與土壤資料建立方式相同。土地利用與模式中多種輸入參數選擇有相關，如逕流曲線數、土地覆蓋相關參數...等。初始逕流曲線數根據土地利用及土壤類型所決定，而模式也會透過每天的土壤水分條件對逕流曲線數進行調整，初始 CN 值如表 2 所示，其中土壤水文特性及質地組合詳見表 3、4。

(五) RUSLE 輸入參數

1. 降雨沖蝕因子 R

採用吳藝昀(2003)西北部地區年降雨沖蝕指數與年降雨量之相關式：

$R = 0.000294 \times P^{1.91672}$ ，其中 R 為年降雨沖蝕指數(100 · ft·tons · in/ac · hr · yr)、P 為年降雨量(mm)，將試區 2001-2003 年之年雨量資料代入計算得年平均降雨沖蝕指數為 377.73(100 · ft·tons · in/ac · hr · yr)。

2. 土壤沖蝕性因子 K

採用萬鑫森、黃俊義(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

出各土壤種類之土壤沖蝕指數值。

Agriculture Handbook Number 703(Renard *et al.*,1996)建置，決定根系生物量、樹冠覆蓋率及殘株覆蓋率等因子，由模式自行計算。

3. 覆蓋管理因子 C

由 2006 年之土地利用圖參考 USDA 之

表 1 不同土壤質地之物理特性
Table 1. Soil physical characters

| 土壤質地 | 總體密度 (g/cm ³) | 田間含水量 (cm/cm) | 凋萎係數 (cm/cm) | 飽和水力傳導度 (in/hr) |
|-----------------|---------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| Silty clay | 1.5 | 0.43 | 0.30 | < 0.04 |
| Clay | 1.4 | 0.47 | 0.28 | |
| Silty clay loam | 1.4 | 0.47 | 0.20 | 0.04-0.08 |
| Sandy clay | 1.6 | 0.40 | 0.20 | |
| Sandy clay loam | 1.6 | 0.30 | 0.18 | 0.08-0.2 |
| Clay loam | 1.6 | 0.35 | 0.22 | |
| Loam | 1.6 | 0.26 | 0.11 | 0.2-0.8 |
| Silt loam | 1.5 | 0.32 | 0.12 | |
| Loamy sand | 1.6 | 0.19 | 0.05 | 0.8-2.4 |
| Sandy loam | 1.6 | 0.22 | 0.08 | |
| Sand | 1.6 | 0.16 | 0.03 | > 2.4 |

資料來源：USDA-SCS,1984 and Rawls *et al.* (1982)

表 2 逕流曲線數

Table 2. 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 | 70 | 77 |
| 地表水 | 93 | 94 | 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 3 水土保持局土壤質地分類

Table 3. 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 | 粉質壤土、粉土 |
| 5 | 壤土 |
| 6 | 砂質黏壤土 |
| 7 | 黏質壤土、粉質黏壤土 |
| 8 | 粉質黏土、砂質黏土 |
| 9 | 黏土 |

資料來源：農委會水土保持局

4. 水土保持措施因子 P

P 值係指現有田間之耕作方法、措施或是水土保持方法下與標準試區之土壤流失量之比值，本研究以最差之狀況(P=1)來評估。

表 4 水土保持局土壤分類對應之 SCS 土壤分類

Table 4. 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

四、改善方案

利用 AnnAGNPS 模式進行逕流量、沖蝕量及泥砂產量之現況模擬，再模擬兩個管理措施方案，與集水區現況比較進行效益評估分析。

(一) 方案一

依據山坡地可利用限度分類標準，宜農牧地限定坡度為 55%以下，55%以上應實施造林，避免開發造成的土壤沖蝕等自然災害，擬定坡度 55%以上農地回收造林方案，利用 GIS 工具套疊，將坡度 55%以上之農地利用類型改變成為林地，集水區內陡峭區位農地回收造林地約有 12.23ha，如圖 14 所示。

(二) 方案二

植生緩衝帶對污染物有攔阻及過濾泥砂、減緩漫地流的功效，從而達到去除污染物的目的，Castelle *et al.* (1994) 指出濱水植生緩衝帶之寬度，取決於地區特性，一般在 30~200 公尺之間，便可發揮有效的功能。本

方案則將在水系周邊配置 40 公尺的植生緩衝帶進行模擬，方案所佔面積約有 47.68ha，如圖 15 所示。

(三) 效益評估方法

各方案設置條件不同，因此以改善率及單位面積改善效率進行方案間的比較，其公式如下：

$$\text{改善率}(\%) = \frac{\text{集水區現況} - \text{方案配置結果}}{\text{集水區現況}} \times 100\%$$

$$\text{單位面積改善效率}(\%) = \frac{\text{改善率}(\%)}{\text{方案面積}(\text{ha})}$$

式中：

集水區現況：模式模擬未配置方案前逕流量、沖蝕量及泥砂產量之狀況；

方案配置結果：模式模擬配置方案一及方案二之後之逕流量、沖蝕量及泥砂產量狀況；

方案面積(ha)：配置方案所佔面積。

五、研究流程

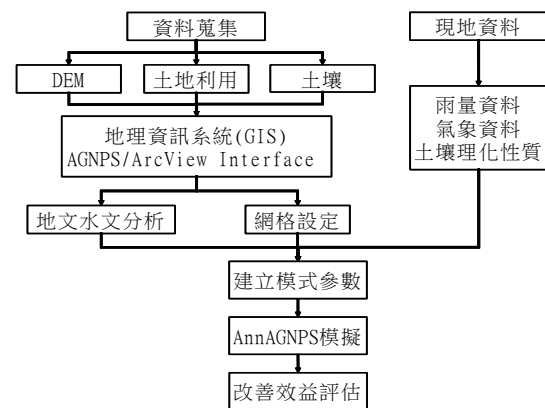


圖 10 研究流程

Figure 10. The flow chart of this study

貳、結果與討論

一、現況模擬

利用模式模擬出 2001-2003 年之逕流量、沖蝕量及泥砂產量，如表 5 所示，其中 2001 年的年降雨量比 2002 年及 2003 年高出一倍之多。而三年間模擬之年逕流量分別為 39.71、8.62 及 8.22cms；沖蝕量分別為 1672.52、145.08 及 149.19ton；泥砂產量分別為 1508.53、129.92 及 134.20ton，而各期土壤沖蝕分布的情況，如圖 11-13 所示，顯示集水區的主要沖蝕量多來自於農業活動地區。

二、模擬結果與方案比較

1. 逕流量

模式模擬結果如表 5~9 所示，於方案一中，2001-2003 年的逕流量分別減少 0.12、0.07 及 0.06cms；三年的逕流量改善率分別為 0.301%、0.890% 及 0.793%，平均為 0.661%。

方案二中，2001-2003 年的逕流量分別減少 0.16、0.10 及 0.08cms，相較於方案一皆有較高的表現，其原因為改善方案所佔面積較大所致；其三年間的逕流量改善率分別有 0.409%、1.206% 及 1.068%，平均為 0.894%。

整體而言，在逕流量改善率的減少上，以方案二效果較好，若考慮配置效率，將平均改善率除以方案所佔面積，則單位面積改善效率分別為 0.054 及 0.019%，以方案一較佳。此外，兩方案中 2001 年之年降雨量較 2002 年及 2003 年高，逕流量控制之量體亦較高，唯其改善率相較 2002 年及 2003 年下降極多，意味無論方案一或方案二配置，由於年

雨量之增加，使其改善率漸趨極限。

2. 沖蝕量

模式模擬結果如表 5~9 所示，於方案一中，2001-2003 年的泥砂產量分別減少 510.18、44.42 及 45.8ton；三年間的沖蝕量改善率分別為 30.50%、30.62% 及 30.70%，平均為 30.61%。

方案二中，2001-2003 年的泥砂產量分別減少 215.24、18.64 及 19.08ton，皆比方案一低；其三年間的沖蝕量改善率分別有 12.87%、12.85% 及 12.78%，平均為 12.84%，效果比起方案一稍嫌不足。

大致上，在沖蝕量改善率的減少上，以方案一較有明顯的成效，若考慮配置之效率，將平均改善率除以方案所佔面積，則單位面積改善效率分別為 2.50 及 0.269%，以方案一較好。兩方案在沖蝕量的減抑上皆有不錯的成果，方案二所佔面積較廣，但其改善量體仍較方案一低，說明其配置緩衝區位雖效果較低，但仍能降低泥砂的輸出；而方案一改善情況較為顯著，原因為其配置區位皆為高潛勢沖蝕區，集水區主要沖蝕量多源自於此。

3. 泥砂產量

模式模擬結果如表 5~9 所示，於方案一中，2001-2003 年的泥砂產量分別減少 454.62、39.29 及 40.70ton；三年間的泥砂產量改善率分別為 30.14%、30.24% 及 30.33%，平均為 30.23%。

方案二中，2001-2003 年的泥砂產量分別減少 191.33、16.49 及 16.96ton，皆低於方案一；2001-2003 年的泥砂產量改善率分別有

12.68%、12.69%及 12.64%，平均為 12.67 %。

在泥砂產量改善率的減抑上，以方案一有較顯著的成果，若考慮配置之效率，將平均改善率除以方案所佔面積，則單位面積改善效率分別為 2.47 及 0.266%，以方案一較好。不論是改善量體、改善率或是單位面積

改善率，皆可以顯示出方案一之成果較佳，說明方案一配置的區位可以有效減少集水區泥砂產量，亦可知陡峭區位農業活動區有潛在泥砂危害，顯示集水區中農業活動的減少及林地的增加對於集水區有正面的效益。

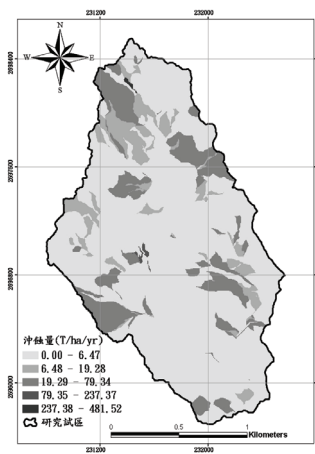


圖 11 薑麻園集水區 2001 年土壤沖蝕分布

Figure 11. Spatial distribution of soil erosion (2001)

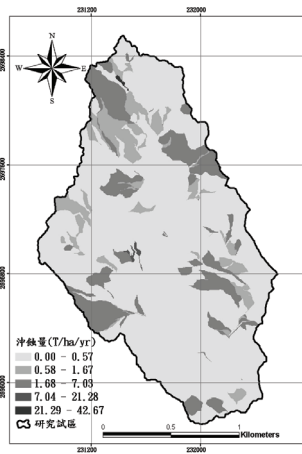


圖 12 薑麻園集水區 2002 年土壤沖蝕分布

Figure 12. Spatial distribution of soil erosion (2002)

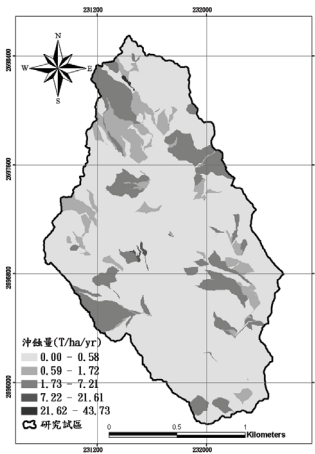


圖 13 薑麻園集水區 2003 年土壤沖蝕分布

Figure 13. Spatial distribution of soil erosion (2003)

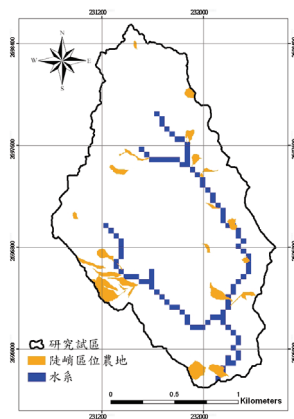


圖 14 陡峭區位農地回收

Figure 14. Spatial distribution of the farmland retrieved at steep area

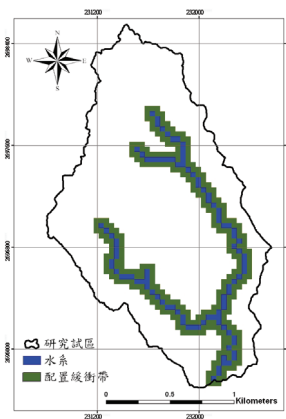


圖 15 水系周邊緩衝帶配置

Figure 15. Spatial distribution of the riparian buffer zone

表 5 集水區 2001-2003 年 AnnAGNPS 現況模擬成果

Table 5. Simulation results of AnnAGNPS (2001~2003)

| 年份 | 年降雨量 (mm) | 年逕流量 (cms) | 年沖蝕量 (t) | 年泥砂產量 (t) | 年沖蝕深度 (mm) |
|------|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| 2001 | 2222.92 | 39.71 | 1672.52 | 1508.53 | 0.377 |
| 2002 | 1103.26 | 8.62 | 145.08 | 129.92 | 0.032 |
| 2003 | 1010.95 | 8.22 | 149.19 | 134.20 | 0.034 |
| 平均 | 1445.71 | 18.85 | 655.60 | 590.88 | 0.148 |

表 6 集水區 2001-2003 年 AnnAGNPS 陡峭區位農地回收模擬成果

Table 6. Simulation results of farmland retrieved at steep area

| 年份 | 年降雨量 (mm) | 年逕流量 (cms) | 年沖蝕量 (t) | 年泥砂產量 (t) | 年沖蝕深度 (mm) |
|------|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| 2001 | 2222.92 | 39.59 | 1162.34 | 1053.91 | 0.263 |
| 2002 | 1103.26 | 8.55 | 100.66 | 90.63 | 0.023 |
| 2003 | 1010.95 | 8.16 | 103.39 | 93.50 | 0.023 |
| 平均 | 1445.71 | 18.77 | 455.46 | 412.68 | 0.103 |

表 7 集水區 2001-2003 年 AnnAGNPS 水系周邊配置緩衝帶模擬成果

Table 7. Simulation results of the riparian buffer zone placement

| 年份 | 年降雨量 (mm) | 年逕流量 (cms) | 年沖蝕量 (t) | 年泥砂產量 (t) | 年沖蝕深度 (mm) |
|------|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| 2001 | 2222.92 | 39.55 | 1457.28 | 1317.20 | 0.329 |
| 2002 | 1103.26 | 8.52 | 126.44 | 113.43 | 0.028 |
| 2003 | 1010.95 | 8.14 | 130.11 | 117.24 | 0.029 |
| 平均 | 1445.71 | 18.73 | 571.28 | 515.96 | 0.129 |

表 8 各方案改善率

Table 8. Improvement in efficiency for each scenario

| 年份 | 年降雨量 (mm) | 陡峭區位農地回收 | | | 水系周邊配置緩衝帶 | | |
|------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| | | 逕流量 改善率(%) | 沖蝕量 改善率(%) | 泥砂產量 改善率(%) | 逕流量 改善率(%) | 沖蝕量 改善率(%) | 泥砂產量 改善率(%) |
| 2001 | 2222.92 | 0.301 | 30.50 | 30.14 | 0.409 | 12.87 | 12.68 |
| 2002 | 1103.26 | 0.890 | 30.62 | 30.24 | 1.206 | 12.85 | 12.69 |
| 2003 | 1010.95 | 0.793 | 30.70 | 30.33 | 1.068 | 12.78 | 12.64 |
| 平均 | 1445.71 | 0.661 | 30.61 | 30.23 | 0.894 | 12.84 | 12.67 |

表 9 各方案單位面積改善效率

Table 9. Improvement in efficiency of unit area

| 年份 | 年降雨量(mm) | 陡峭區位農地回收 單位面積改善效率(%) | | | 水系周邊配置緩衝帶 單位面積改善效率(%) | | |
|------|----------|-------------------------|------|------|--------------------------|-------|-------|
| | | 逕流量 | 沖蝕量 | 泥砂產量 | 逕流量 | 沖蝕量 | 泥砂產量 |
| 2001 | 2222.92 | 0.025 | 2.49 | 2.46 | 0.009 | 0.270 | 0.266 |
| 2002 | 1103.26 | 0.073 | 2.50 | 2.47 | 0.025 | 0.270 | 0.266 |
| 2003 | 1010.95 | 0.065 | 2.51 | 2.48 | 0.022 | 0.268 | 0.265 |
| 平均 | 1445.71 | 0.054 | 2.50 | 2.47 | 0.019 | 0.269 | 0.266 |

參、結論

台灣地區山高坡陡，河川短急，且雨量豐沛集中，不當的土地利用，極易造成集水區的土壤流失及土砂災害，多年來台灣為求經濟發展，增加了對土地與水源的需求，而忽略了生態環境的平衡，因此控制集水區內泥砂產量與沖蝕量於可容許範圍內就顯得相當重要。

本研究利用 AnnAGNPS 推估泥砂產量、沖蝕量及逕流量，對集水區進行不同管理作業的配置，分別為陡峭區位農地回收造林及水系周邊配置緩衝帶，期望透過模式的模擬預測，尋求最好的管理作業提供管理者重點治理區域的決策依據。

結果顯示，泥砂產量及沖蝕量以陡峭區位農地回收有較佳的改善效益，而逕流量減少則以水系周邊配置緩衝帶有較好的效果；在單位面積改善效率上，陡峭區位農地回收方案之泥砂產量、沖蝕量及逕流量的減抑皆優於水系周邊配置緩衝帶，說明集水區中農業活動的減少有助於減少集水區內之土砂災害。

誌謝

本研究承蒙國家科學委員會研究計畫 NSC96-2313-B-005-047-MY3 之資助，特此致謝。

參考文獻

1. 吳藝昀 (2003)，台灣天然雨滴粒徑分佈及年等降雨沖蝕指數圖之修訂，國立中興大學土木工程學系碩士論文，p.83。
2. 洪華生 等 (2005)，「AnnAGNPS 模型在九龍江流域農業非點源污染模擬應用」，環境科學，第 26 卷，第四期，第 65-71 頁。
3. 黃金良 等 (2005)，「AnnAGNPS 模型在九龍江典型小流域的適用性檢驗」，環境科學學報，第 25 卷，第八期，第 1135-1142 頁。
4. 程炯 等 (2007)，「珠江三角洲典型流域 AnnAGNPS 模型模擬研究」，農業環境科學學報，第 26 卷，第三期，第 842-846 頁。
5. 賈寧鳳 等 (2006)，「基於 AnnAGNPS

- 模型的黃土高原小流域土壤侵蝕定量評價」，農業工程學報，第 22 卷，第十二期，第 23-27 頁。
6. 萬鑫森、黃俊義 (1989)，「台灣坡地土壤沖蝕」，中華水土保持學報，第 20 卷，第一期，第 17-45 頁。
 7. Castelle, A.J., A.W. Johnson and C. Conolly (1994), Wetland and stream buffer size requirement – a review. *Journal of Environmental Quality*, 23, 878-882.
 8. Polyakov, V., A. Fares, D. Kubo, J. Jacobi and C. Smith (2007), Evaluation of a non-point source pollution model, AnnAGNPS, in a tropical watershed. *Environmental Modelling and Software*, Volume 22, Issue 11, pp. 1617-1627.
 9. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder (1996), Predicting soil erosion by water : A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE). USDA, Agriculture Handbook Number 703.
 10. Ronald, L.B. and F.D. Theurer (2005), AnnAGNPS Technical Processes. USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory.
 11. Shrestha, S., M.S. Babel, A.D. Gupta, and F. Kazama (2006), Evaluation of annualized agricultural nonpoint source model for a watershed in the Siwalik Hills of Nepal. *Environmental Modelling and Software*, Volume 21, Issue 7, pp. 961-975.
 12. SCS. (1986). Technical Release 55 : Urban hydrology for small watersheds. Soil Conservation Service, USDA

97 年 03 月 20 日 收稿

97 年 04 月 01 日 修改

97 年 04 月 03 日 接受