

水庫集水區植生緩衝帶配置區位及效益評估之研究

林昭遠^{(1)*} 賴威任⁽²⁾ 莊智瑋⁽³⁾

摘要

水庫為各類用水之重要來源之一，根據水庫管理局資料顯示，台灣多數水庫優養化及淤積問題極為嚴重，導致蓄水量不足或水質不佳，如何有效解決水庫淤砂及優養化問題，為目前水庫集水區經營管理之重大課題。本研究以分布於泥岩區位之阿公店水庫集水區，利用倒傳遞類神經網路進行影像判釋，量化分析水庫優養化狀況，並以DEM資料萃取集水區植生緩衝帶之最佳配置區位，另搭配農業非點源污染模式（AGNPS）進行配置效益模擬，探討緩衝帶配置對阿公店水庫之水質改善效益。依流向計算兩相鄰網格之坡度差值大於20%以上之區位配置植生緩衝帶，並以皮爾遜10年暴雨頻率年日降雨量374.57mm進行模擬，模擬結果顯示，在土地利用以農業為主之1號集水區內，以總氮、總磷濃度之減量分別為4.53%與4.04%為最高，其單位配置面積之減量率每公頃0.16%與0.14%，惟集水區之逕流與泥砂減量率並不明顯。土地利用以泥岩裸地為主之2號集水區，以泥砂之減量率為10.89%最高，其單位配置面積之減量率每公頃達0.26%；而總氮之減量率約為6.94%，總磷之減量率約為5.96%，其單位配置面積減量率每公頃分別為0.17%、0.14%，緩衝帶配置對2號集水區逕流量之改善率亦不明顯。

(**關鍵詞**：植生緩衝帶、水庫優養化、農業非點源污染模式)

A study of placement and benefits of vegetated buffer strips in a reservoir watershed

Chao-Yuan Lin^{(1)*} *Wei-Jen Lai*⁽²⁾ *Chin-Wei Chuang*⁽³⁾

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

ABSTRACT

Water resources operated by the reservoirs are key sources for a variety of water utilization. According to data published from reservoir administration, most of reservoirs in Taiwan have

(1) 國立中興大學水土保持學系教授，通訊作者。電子郵件: cylin@water.nchu.edu.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博士生。

suffered serious eutrophication and/or sedimentation, which led to shortage of water storage and worse water quality. Hence, how to solve the problems has become an important task in reservoir management. In this study, A-kung-ten reservoir watershed located at the mud-stone area was chosen as the research site for exploring the placement and benefits of vegetated buffer strips (VBSs), and with the process of image interpretation using back propagation Neural Network to classify the watershed land use for quantifying the reservoir's trophic status, the places where gradient difference greater than 20% calculated with receiving drainage cells were designed for the placement of VBS's, finally the scenario's benefits were fully discussed by using daily precipitation with the occurrence of 10-year period simulated in AGNPS. Results show that there is a principal decrease in both the concentration of total nitrogen (4.53%) and total phosphorus (4.04%), some 0.16% and 0.14% decreasing rate for placement efficient of VBS's per unit hectare, respectively; however, there is no significant difference in runoff and sediment yield at No1 watershed which having a dominant land use in agriculture. No2 watershed with plenty of mud-stone bare land shows that there is a major decrease in sediment yield (10.89%), about 0.26% decreasing rate for placement efficient of VBS's per unit hectare. The decreasing rates in total nitrogen and total phosphorus are 6.94% and 5.96%, and the decreasing rates for placement efficient of VBS's per unit hectare are 0.17% and 0.14%, respectively; also with no significant difference in runoff for the scenario of VBS's placement.

(Key words : Vegetated buffer strips, Reservoir eutrophication, AGNPS)

前言

台灣地形山高峻陡，雖年平均降雨量高達2500公釐，但因受地形關係，可供使用之水資源有限，因此需構築水庫貯留水資源供飲用水、農業灌溉、工業用水等使用。目前台灣本島共有20座主要供水水庫，離島地區則有23座水庫，因受水庫上游常有點源、非點源污染及豪雨所造成之崩塌，導致水庫優養化與泥砂淤積等問題頻傳。

「優養」為營養源過於旺盛之意，在水庫、湖泊生態系統中，生產者(水生植物、藻類)將無機物轉變成生物可利用之有機物，有機物經由食物鏈得以帶到高層之消費者(水生動物)體內，生物死後其有機體又由分解者(微生物)分解成無機物回饋自然水體，再被生產

者利用，如此不斷地轉化、循環，致使水庫或湖泊中的磷、氮等營養鹽增加，而造成水體表層藻類大量繁殖；水中的透明度降低，生物量劇增，此過程即稱為優養化(駱尚廉與蔡淑芬，1992)。

現今本島主要供水水庫，約有一半以上具有優養化及淤砂問題，其中更超過半數以上之水庫，優養化狀態長達半年，而離島之23座水庫更幾乎全年皆為優養化狀態，顯示水庫之優養化問題已不容忽視，因此，如何有效快速解決這些問題，乃是目前水庫集水區治理當務之急。

阿公店水庫集水區主要分布於泥岩層，泥岩地質年輕，岩石膠結不良，表層遇水易軟化、崩解，且乾燥時堅硬如石，並極易龜裂崩落，再加上泥岩地質土層淺薄，使得泥岩邊坡不利植物生長，易成寸草不生之荒

地，加上區內農事耕作，表土殘留營養鹽類因入滲不易，每逢暴雨易將泥砂及營養鹽類沖入河道，導致水庫嚴重淤積及優養化。

植生緩衝帶係指位於潛在污染源與地表水體間之人工栽植或天然植被。其具有緩衝污染物、安定河岸等多項功能，且對於河川之生態保育助益良多，不僅能有效控制非點源污染，增加水資源之使用，更可攔阻及過濾泥砂，減緩漫地流，使泥砂、養分及殺蟲劑與逕流分離，降低水處理成本，加強景觀保存及生態價值，改善野生動物棲息地，增進生物歧異度及娛樂價值等，而如何建置植生緩衝帶最佳配置區位並量化評估其配置效益，為本研究之重點。

材料與方法

(I)、試區概述

阿公店水庫集水區位於高雄境內，集水區跨越燕巢鄉、田寮鄉及岡山鎮，面積約31平方公里，東臨烏山西接小崗山，南是崎嶇之山脈，北以大岡山為界(圖1)。水庫之蓄水量約為20.5百萬立方公尺，民國92年未進行整治工程前，淤砂量最高可達百分之七十，水庫蓄水量頓時剩為5.95百萬立方公尺，淤砂量居全台水庫之冠。阿公店水庫優養化嚴重，造成溶氧量甚低、藻類與布袋蓮大量繁殖、水庫淤積嚴重，亦是全國第一座因為優養化宣告死亡而停擺的水庫。民國88年開始進行整治工程，除進行大規模庫底疏濬外，並興建越域引水路引旗山溪水以擴大水庫給水量及實施集水區養豬廢養，於民國94年10月完工。完工後之阿公店水庫，淤積及優養化現象雖可改善，惟長遠之計，水庫上游集

水區農業非點源污染之防制方可達永續經營的目的。



圖 1 研究試區

Figure 1 Site of the study area

(II)、材料

1、數值高程模型(DEM)

採用農航所測製之40公尺 X 40公尺之數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 進行地形分析、集水區劃分、水系網萃取及緩衝帶最佳配置區位劃定。

2、土壤及土地利用圖資

採用台灣省農林廳山地農牧局編印之土壤圖及水土保持局90年所建立之土地利用圖資萃取試區內土壤及土地利用等資料供AGNPS模式參數建置之用 (圖2及圖3)。

3、衛星影像

採用民國90年1月8日之SPOT衛星影像進行影像(圖4)判釋，分為水域、裸地、植生與水域植生等四類，以瞭解阿公店水庫內土地利用分類之空間分布，進行子集水區劃定，供AGNPS模式模擬；另由水域植生面積佔水庫水域面積之比例，藉以量化分析水庫優養狀況。

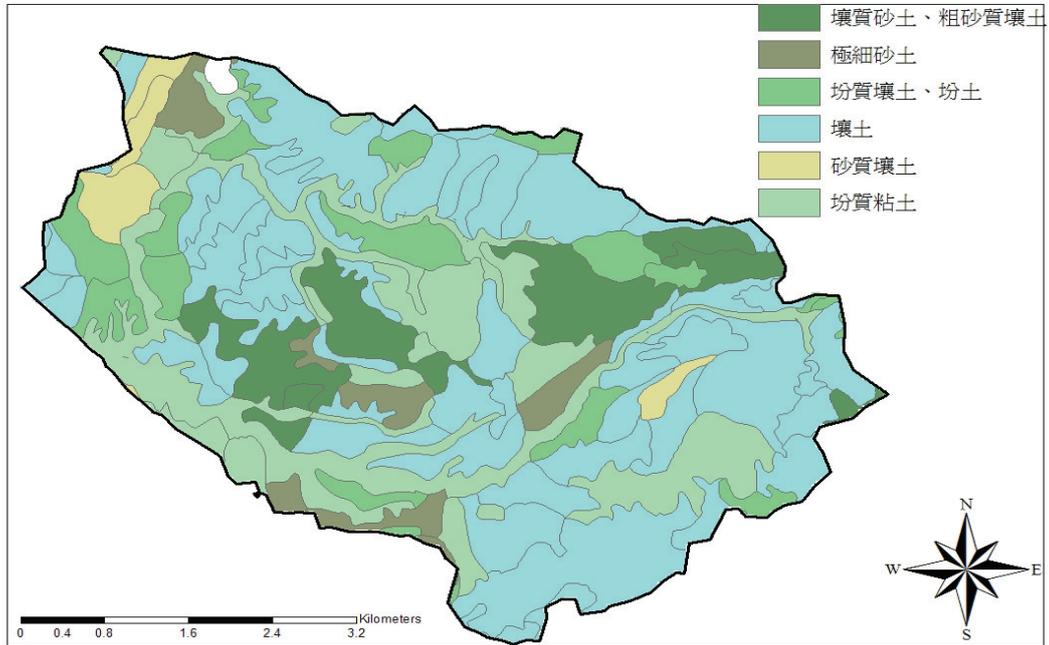


圖 2 土壤圖

Figure 2 Soil distribution of study area

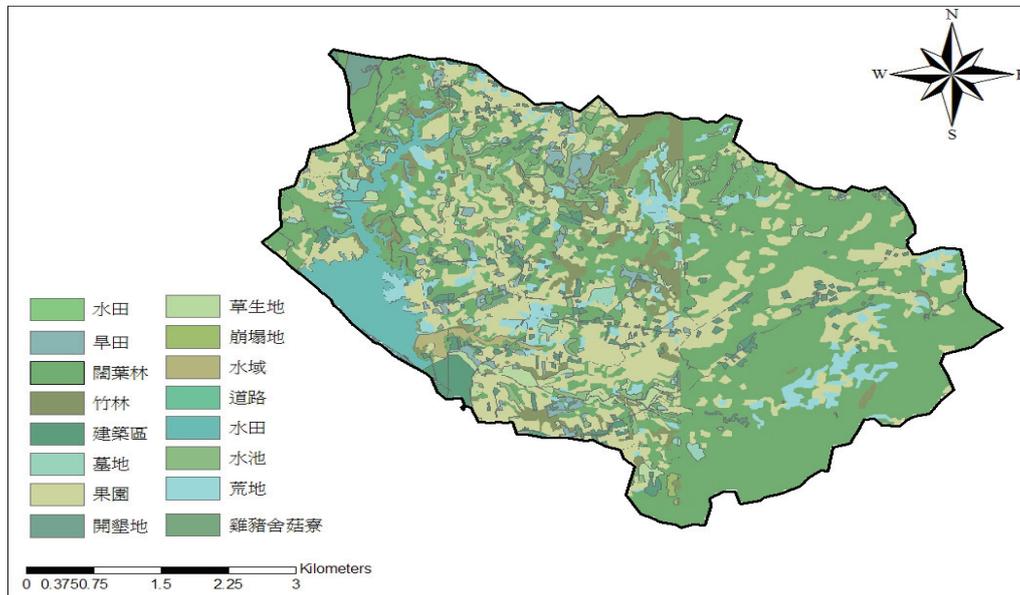


圖 3 土地利用圖

Figure 3 Land use of study area

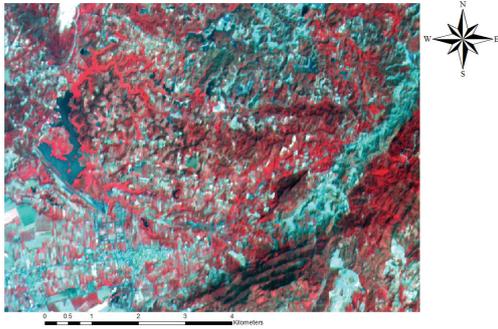


圖 4 衛星影像

Figure 4 SPOT image of study area

(III)、研究流程

利用衛星影像進行影像判釋，瞭解水庫集水區土地利用狀況及量化分析水庫水質優養情形；並以DEM資料進行集水區緩衝帶最佳配置區位優選，最後以AGNPS模式進行緩衝帶配置模擬，探討植生緩衝帶配置前後對水庫水質優養及泥砂減量之改善效益。研究流程如圖5所示。

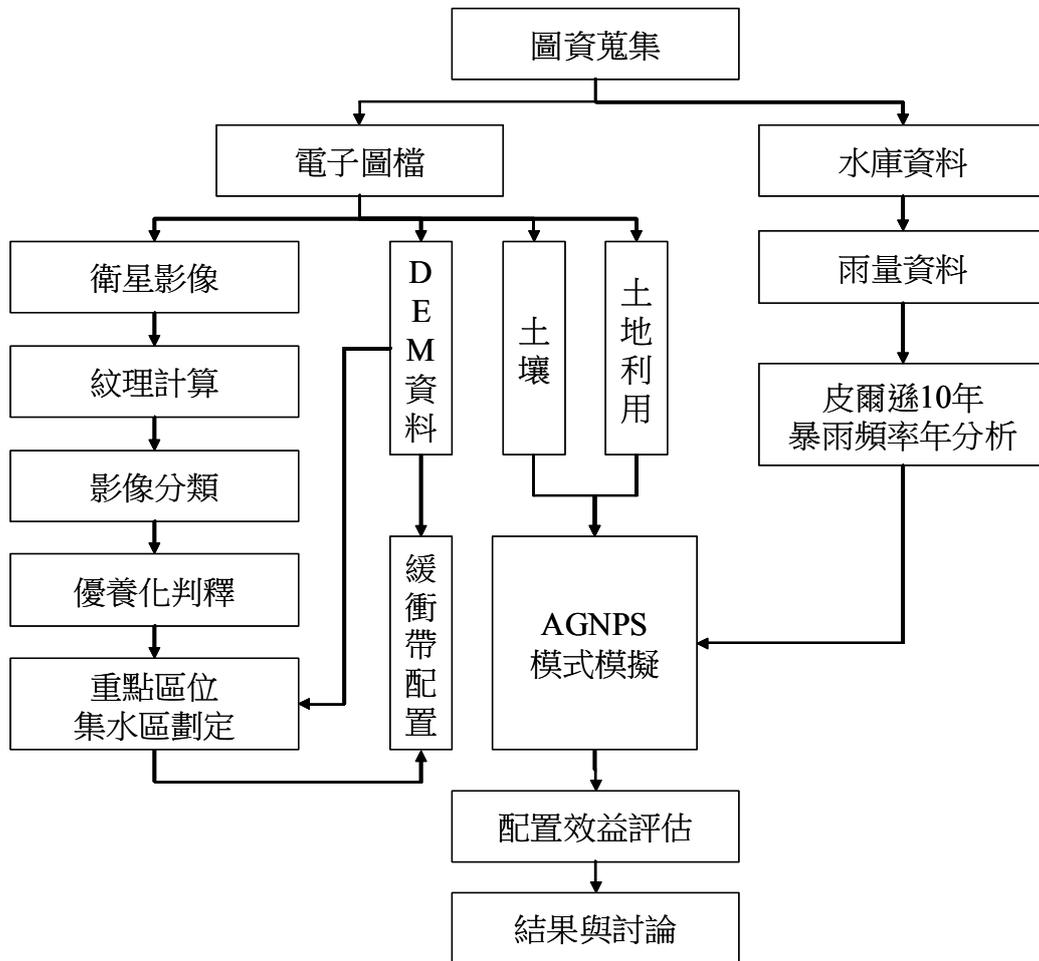


圖 5 研究流程圖

Figure 5 Flow chart of the study

研究方法

1、倒傳遞類神經網路 (Back Propagation Neural Network, BPNN)

類神經網路最早於1974年由P.Werbos之論文中所提出，而在1986年D.Rum- elhart、G.E.Hinton 等推廣後才廣為人知，之後便廣泛應用於各實務面上。由於類神經網路可用來解決複雜或是難以使用數學方式完整模式化之相關問題，常用於影像判釋上。

倒傳遞類神經網路架構分為三層 (圖6)，分別為輸入層 (input layer)、隱藏層 (hidden layer)、輸出層 (output layer)。其中輸入層用以表示網路的輸入變數，數量可依問題而定。隱藏層用以表現輸入處理單元間之交互影響，其處理單元數並無標準方法可以決定，一般以問題之複雜性來加以決定，若問題複雜性不高，通常以一層進行分析，而輸出層係用來表現網路之輸出變數及其個數。其運作流程如下。

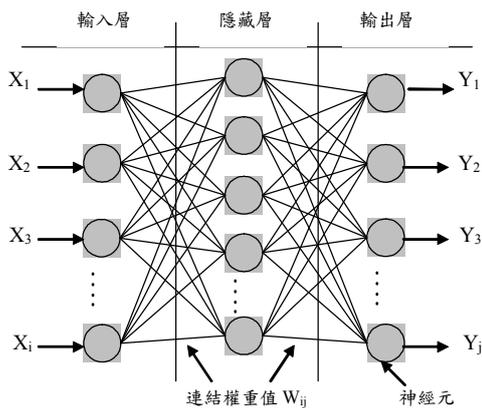


圖 6 倒傳遞類神經網路架構

Figure 6 Frame diagram of back propagation networks

(1)、學習階段：

a.計算輸出變數

$$\text{net} = \sum W * X - \theta ,$$

$$Y = f(\text{net}) = \frac{1}{1 + \exp^{-\text{net}}} ,$$

式中，W是各節點間權重值，X是輸入值，θ是閾值，net是淨值，f是轉換函數，Y是輸出值。

b.誤差函數值

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (T_k - Y_k)^2$$

式中，E 為誤差函數值，T 是第k個神經元目標值，Y 為第k個神經元之網路輸出值。

c.計算權重值修正量

$$W^{n+1} = W^n + \alpha * \Delta W ,$$

$$\theta^{n+1} = \theta^n + \alpha * \Delta \theta ,$$

式中，W是網路權重值，α是學習數率，θ是閾值，n是網路層數目。

d.重複步驟 a~c 直到符合下列之一項條件。

- (a) 誤差函數值 E 收斂。
- (b) 達到設定目標值。
- (c) 重複執行直至學習循環到達一定次數。

(2)、回想階段：

a.輸入全區資料，

b.計算並輸出各點回想值。

2、緩衝帶配置區位之萃取

集水區潛在植生復育愈困難之處，雖是需加強保育之地區，但並非一定是植生復育之理想配置區位。由於泥岩地區植生復育處理初期之養護工作極為重要，位於農地或交通方便等易於管理維護之處方可養護；而位於交通不便之山區或陡坡崩塌地的處理一般是無法給予養護。植生復育極端困難且無法養護之地區，不可逆勢而為，否則將事倍功半，徒勞傷財終將失敗。因此集水區植生復育最佳配置地點之篩選為泥岩地區植生復育的必要工作，所謂植生復育最佳配置地點係針對集水區之地形做一全面性之探討與分析，找出合理可行之植生復育配置區位供植生復育規劃之用。陡坡泥岩裸地之植生方法可採用圍堵策略，雖然坡面愈陡植物不易入侵生長，但是陡坡面之承雨面積較小，除了迎風面外，土壤受打擊沖失之機率也小，此時可在裸露坡面之坡腳平緩處配置植生緩衝

帶，將坡面沖蝕下來的泥砂阻攔於坡腳(圖7)，避免沖刷泥砂危及中、下游河道及水庫，所以陡坡面坡度劇烈變化點即為植生復育之最佳配置地點，可藉由地形分析予以標定(圖8)。坡度差係指於相同坡面上，依流向計算兩相鄰網格之坡度差值，差值愈大係表示陡坡面有較緩之位置供植生復育之用，為陡坡地植生復育之最佳配置區(圖9)。



圖 7 泥岩邊坡緩衝帶配置圖

Figure 7 Suitable sites (base of steep slopland) for the placement of VBSs

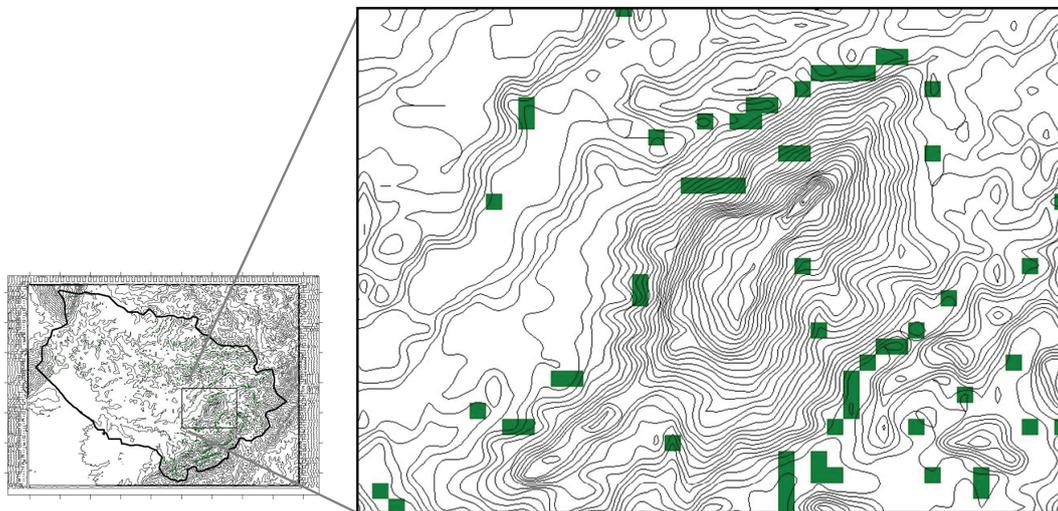


圖 8 緩衝帶配置區位圖

Figure 8 Places (marked cells) of urgent treatment of VBSs derived from DEM calculation

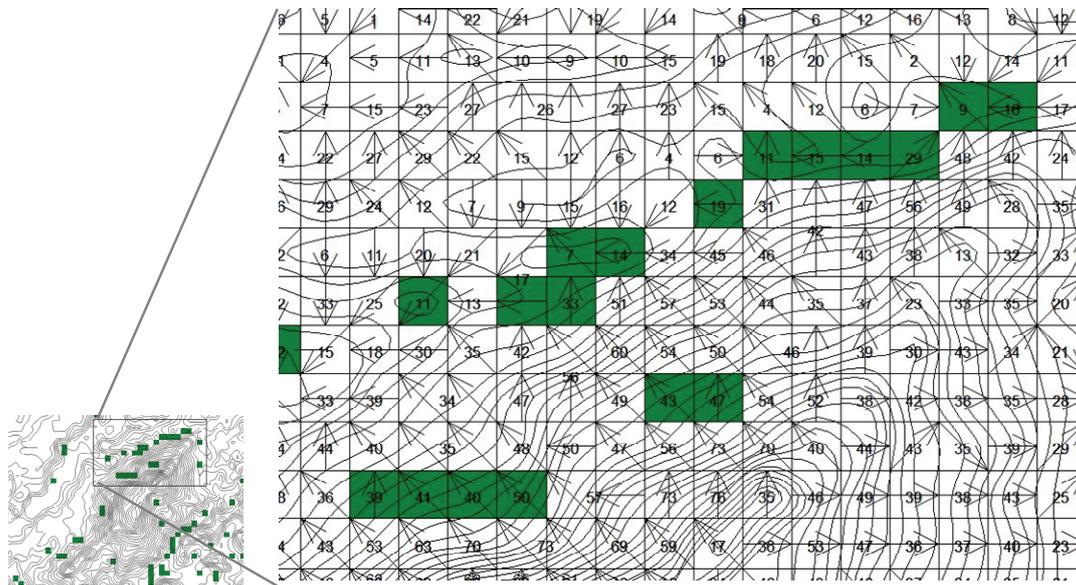


圖 9 坡度梯度大於 20%之網格

Figure 9 Marked cell where gradient difference greater than 20% calculated from the receive drainage cells

3、效益評估

以改善率及單位面積改善率進行集水區植生緩衝帶配置效益的比較，其公式如下：

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

$$\text{單位面積改善率 (\%)} = \frac{\text{改善率 (\%)}}{\text{緩衝帶配置面積 (ha)}}$$

式中：

集水區現況：模式模擬未配置緩衝帶前之集水區沖蝕深度、逕流洪峰量、泥砂產量、總氮、總磷情況。

緩衝帶配置結果：模式模擬緩衝帶配置後之集水區沖蝕深度、逕流洪峰量、泥砂產量、總氮、總磷情況。

4、AGNPS 模式介紹

AGNPS為1987年由美國明尼蘇達州的汙染控制局(MPCA)、水土保持局及美國農部

(USDA) 土壤保育中心 (SCS)，為分析集水區水質和逕流而發展出來 (Young et al 1989)。AGNPS模式屬分布型參數模式，基本上由水文、沖蝕、泥沙和營養物質運送三部份構成。

水文模式主要利用美國水土保持局 (Soil Conservation Service, SCS) 發展之地表逕流-逕流曲線 (Curve Number, CN) 法計算逕流量及洪峰流量。沖蝕模式利用修正型通用土壤流失公式 (MUSLE) 加入坡型修正因子 (SSF) 估算土壤流失量。營養物質運送則是利用CREAM模式得出氮 (N)、磷 (P) 及化

學需氧量 (COD) 的模擬結果。彙整AGNPS 模式使用的原理，如表1所示：

表 1 AGNPS 模式原理

Table.1 Model concepts of AGNPS

AGNPS 演算方法	參考
地表逕流-逕流曲線法 (CN)	USDA-SCS (1972)
尖峰流量	Smith <i>et al.</i> (1980)
逕流流速	Manning's equation
土壤流失-修正後 USLE	Wischmeier <i>et al.</i> (1978)
泥砂傳輸能力-溪流動 力方程式	Bagnold (1966)
泥砂傳輸 - stationary 連續方程式	Foster <i>et al.</i> (1981)和 Lane (1982)
營養傳輸(N,P)	Frere <i>et al.</i> (1980)

資料來源：<http://grunwald.ifas.ufl.edu/Projects/AGNPS/agnps.htm>

1. 土壤沖蝕部份

分別計算上游地表(Upland)單位面積沖蝕量、渠道(Channel)單位面積沖蝕量，並將沖蝕土壤分成五種顆粒大小等級(粘粒、粉粒、小團粒、大團粒、砂粒)。估測單場暴雨的土壤流失量係採用修正之通用土壤流失方程式(Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE)：

$$E = EI \times K \times L \times S \times C \times P \times SSF$$

E：土壤沖蝕量(tons/acre)

EI：降雨能量強度(100-ft-ton in/acre hr)

K：土壤沖蝕性指數 (ton-acre hr/100-acre ft-ton in)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：覆蓋因子

P：水土保持措施因子

SSF：坡型修正因子

SSF之修正值如表2所示，凸坡易沖刷，凹坡易淤積，故乘上一修正值加以修正 (Wischmeier and Smith, 1978)。

表 2 坡型修正因子(SSF)

Table.2 The slope shape factors.

坡 型	SSF
均 坡	1.00
凸 坡	1.30
凹 坡	0.88

2. 泥沙運移部分

係針對單一網格做分析(如圖10)，考慮由上游及四周流入之泥砂量，扣除網格內自O點至X點之泥砂沉積量，即為該網格之模擬泥砂輸出量。

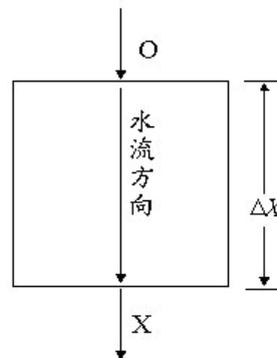


圖 10 單一網格分析示意圖

Figure 10 Illustration of sediment transportation in a given cell

泥砂運移量主要分成二部分進行估算，第一部分為上游之泥砂進入渠道，第二部分為河道中泥砂之輸送；並將之分為五級(粘粒、粉粒、砂粒、大團粒、小團粒)加以演算。

(1) 泥沙輸出

模式中有關泥砂運移和沉積之方程式是採用Foster et al.(1981)與Lane(1982)之公式：

$$Q_s(X) = Q_s(O) + Q_{sl} \frac{\Delta X}{L_r} - \int_0^X D(X) W dx \quad (1)$$

QS(X) : X點泥砂之輸出量(lb/sec)

QS(O) : O點泥砂之輸入量(lb/sec)

Qsl : 側流泥砂流入量(lb/sec)

ΔX : 上游至X點之距離(ft)

Lr : 側流之距離(ft)

D(X) : X點泥砂沉積率(lb/sec²-ft)

W : 渠道寬(ft)

(2) 各顆粒大小之泥沙輸出

$$Q_s(X) = \left[\frac{2q(X)}{2q(X) + \Delta V_{ss}} \right] \times \left\{ Q_s(O) + Q_{sl} - \frac{\bar{W} \times \Delta X}{2} \times \left[\frac{V_{ss}}{q(O)} \times (q_s(O) - g_s(O)) - \frac{V_{ss}}{q(X) \times g_s(X)} \right] \right\} \quad (2)$$

Qsi(X) : 土粒流出率(lb/sec)

q(X) : 流出單位寬度網格之流量
(ft³/sec-ft)

ΔX : 渠道長之改變(ft)

Qsi(O) : 土粒流入率(lb/sec)

\bar{W} : 平均渠道寬(ft)

q(O) : 流入單位寬度網格之流量
(ft³/sec-ft)

qsi(O) : 單位寬度網格泥砂流入率
(lb/sec-ft)

gsi(O) : 土粒輸入網格之能力(lb/sec-ft)

gsi(X) : 土粒輸出網格之能力(lb/sec-ft)

Qsli : 側流量流入速率(lb/sec)

Vssi : 土粒沉降速度(ft/sec)

(3) 洪峰流量

計算洪峰流量之公式係採用Smith and Williams (1980) 用於CREAMS (Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System)的公式：

$$Q_p = 8.48 A^{0.7} S_c^{0.159} RF^{(0.824 A^{0.0166})} (L_c^2 / (A \times 43560))^{-0.187} \quad (3)$$

Qp : 洪峰流量(cfs)

A : 排水面積(acre)

Sc : 渠道坡度(ft/ft)

RF : 逕流體積(in)

LC : 渠道長度(ft)

3. 養分流失部分

採用CREAM 模式對氮(N)、磷(P)、化學需氧量(COD)的運移進行推估, 計算過程分為泥砂吸附部分和可溶性部分進行計算。泥砂吸附部分採用單位的總泥砂量計算。

$$Nut_{sed} = (Nut_f) Q_s(x) E_R$$

Nutsed : 泥砂輸送的氮或磷

Qs : 泥砂產量

ER : 富集比,

$$E_R = 7.4 Q_s(x)^{-0.2} T_f$$

其中Tf 為土壤質地的校正係數。

可溶性營養鹽的估算考慮了降雨、施肥

和淋溶對營養鹽的影響。逕流中可溶性營養鹽由下式估算：

$$Nut_{sol} = C_{nut} Nut_{ext} Q$$

Nut_{sol} ：逕流中氮、磷的濃度

C_{nut} ：逕流流經的土壤表面氮、磷的平均濃度

Nut_{ext} ：氮、磷進入逕流的提取係數 (extraction coefficient)

Q ：逕流總量

模型假設COD 是可溶性的。對逕流中的COD 根據計算逕流量和逕流中COD 的平均濃度進行估算。模型假設COD 不損失累積。

4. AGNPS 模式參數輸入

(1) 集水區參數

- (a) 集水區識別：集水區之識別名
- (b) 小區面積：每一網格之面積，本研究所用之網格為 40m x 40m
- (c) 小區總數：為分析網格之總數
- (d) 降雨量：採用鄰近之經濟部水利署測站金山雨量站之資料，依皮爾遜極端值分布，求出 10 年頻率之最大日雨量為 374.6 mm。
- (e) 暴雨能量強度：由 AGNPS 模式依據所輸入之降雨延時(24hr)與降雨型態自動計算而得。

(2) 小區參數

- (a) 小區編號：每一網格之編號
- (b) 排水流向的小區編號：為各網格中逕流

水排向之小區編號，集水區排水口所在之小區其排水流向編號必須比其它小區之編號要大。

(c) 坡向：每一網格之坡向，由 WinGrid 之地形分析而得。

(d) 逕流曲線值：推求直接逕流量所需之水文參數，為土壤之水文特性及土地使用種類之組合 (表 3~表 5)。

(e) 平均坡度：計算各網格之平均坡度(θ)，再以 Wischmeier and Smith (1978)所提出之坡度因子公式：

$$S = 65.4 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.0654$$

求算而得。

(f) 坡型因子：有三種參數值，即凸型坡、均勻坡及凹型坡，本研究所切取之網格面積不大，以均勻坡來計算。

(g) 坡長因子(漫地流之流路長度)：由於受到自然或人為之地面窪蓄、入滲等作用以及山溝、道路排水側溝等之截流，地表漫地流之流長甚少超過 100m。本計劃之網格大小為 40m×40m，若以地表水流向為指標，累計流長在兩個網格大小以下者可視為漫地流，以此來估算集水區之坡長分佈。

(h) 曼寧粗糙係數：曼寧公式之 n 值，係依植生密度及種類有所不同(表 6)。

(i) 土壤沖蝕性因子：為土壤內在特性所反應抗蝕能力之定量值，亦稱為土壤沖蝕率指數。採用萬鑫森、黃俊義(1981、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台灣地區土壤沖蝕指數等值圖，本區之土壤沖蝕指數值以

克利金法(Kriging)內插計算求得。

- (j) 地表植物覆蓋因子：利用植生指標之方法來考慮地表植物覆蓋因子，本研究以遙測衛星影像之常態化差異植生指標 (NDVI) 推估地表植物覆蓋因子 NDVI 為一標準常態化之指標，其計算方法如下所示：

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

式中，NIR 為近紅外光波段；R 為紅光波段

由於 NDVI 之值域介於-1 至 1 之間，將 NDVI 線性反向配置為地表植物覆蓋因子(C)，其公式為：

$$C = (1 - NDVI) / 2$$

AGNPS 模式模擬緩衝帶配置時，把緩衝帶配置區位之 C 值變更成草地之 C 值 (C=0.1)，如圖 11 所示。

- (k) 水土保持措施因子：水土保持因子 P 值係指現有田間之耕作方式、措施或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。
- (l) 地表狀況常數：表示地表之另一參數，參考 AGNPS 使用手冊 (Young, 1994)，將森林定為 0.59，果園定為 0.29，水域為 0。

- (m) 土壤質地：依土壤顆粒大小而概分為四類，即砂粒、粉粒、黏粒及自定。

- (n) 施肥程度：依照農地施肥程度概分四級，分別為低，中，高及自定，本研究將森林之施肥量定為低，果園定為高等級。

- (o) 肥料有效因子：肥料留存在表土之百分比，在農田地區，依照 AGNPS 使用手冊輸入 60%。

- (p) 點源污染指標：區內是否有點源污染，以 0 (無) 與 1 (有) 表示，本研究區域為 0。

- (q) 蝕溝源程度：區內是否有蝕溝，以 0 (無) 與 1 (有) 表示。

- (r) 化學需氧量因子：依照區內土地利用狀況而分，森林之 COD 值以中等值 65 代入，果園以 170 代入，水域則為 0。

- (s) 積水地指標：區內是否有積水地，以 0 (無) 與 1 (有) 表示。

- (t) 渠道指標：區內是否有渠道，以 0 (無) 與 1 (有) 表示。

在輸入 AGNPS 模式之參數時，當集水區之土地利用過於複雜，則需每個網格各別作變更，使輸入參數之手續變得繁雜。當網格數多，此情形將更為嚴重；因此，本研究將 AGNPS 模式結合 WinGrid (林昭遠、林文賜，2001)，藉以改善此問題。

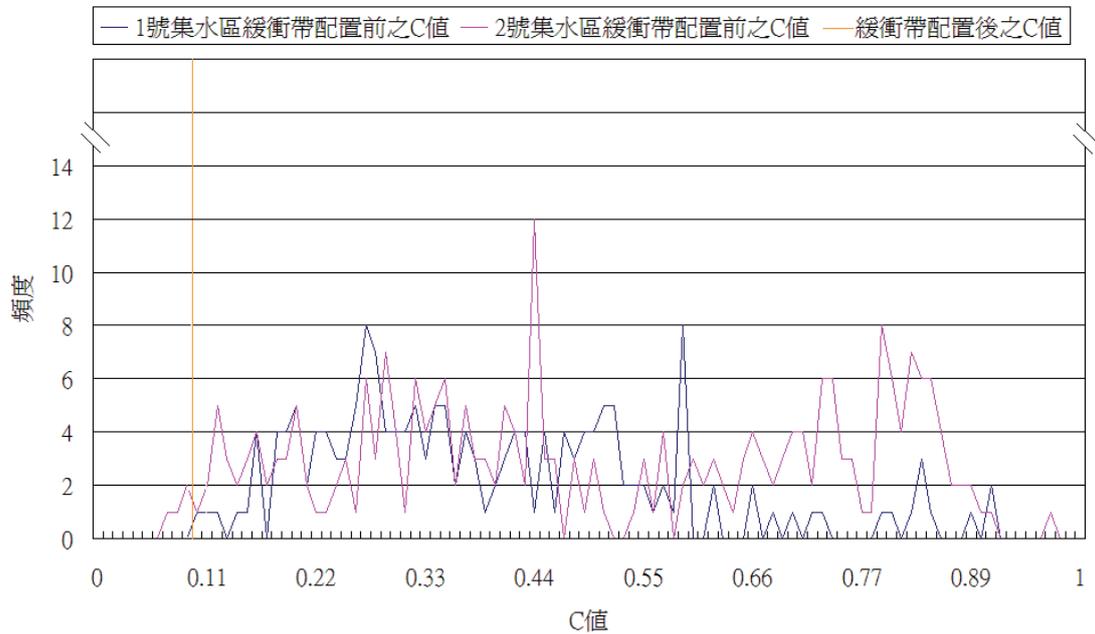


圖 11 緩衝帶配置區位 C 值之頻度分析

Figure 11 Histogram of C value at the sites before and/or after the placement of VBS

表 3 水土保持局土壤質地分類

Table 3 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

表 4 水土保持局土壤分類對應之 SCS 土壤分類

Table 4 Soil classification recommended by the Soil and Water Conservation Bureau versus SCS soil classification

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

結果與討論

(I)、影像判釋成果

將衛星影像進行 GLCM 紋理因子計算，計算 6 個紋理因子，並將所得 18 個波段與 3 個原始波段進行合併，帶入倒傳遞類神經網

路進行影像判釋。圖 12 為影像判釋成果；表 7 則為衛星影像判釋之誤差矩陣，判釋之整體精確度高達 89.67%。衛星影像判釋顯示水庫庫區水域優養化嚴重，水域植生約占水庫水域面積 61.6%，另泥岩裸露區位，主要集中於水庫集水區之東側，注入庫區兩大河系集水區之土地利用類別迥異，再將水庫集水區細分為一號集水區及二號集水區（圖 16）。其中一號集水區集水面積約為 1350.72ha，主要污染源為農業用地所帶來之非點源污染，二號集水區集水面積約為 722.14ha，主要污染為裸露泥岩所產生之泥砂問題。

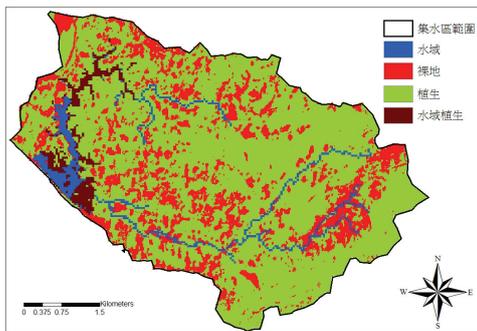


圖 12 影像判釋成果

Figure 12 Results of image interpretation

表 6 土地利用相關之參數參考表

Table.6 Land use pattern and Manning's roughness coefficient

土地利用種類	森林	草地	果園	茶園	檳榔園	裸露地	水體	農地	建築用地
曼寧粗糙係數	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.02	0.99	0.06	0.03

資料來源：夏禹九、陳萱蓉，2000

(II)、集水區緩衝帶配置區位優選

依流向計算兩相鄰網格之坡度差值，差值愈大係表示陡坡面有較緩之位置供植生復育之用，為泥岩地區陡坡地植生復育之最佳配置區位。兩分析集水區網格坡度差頻度分

表 5 逕流曲線數

Table5 Curve Number (CN) values for runoff simulation

土壤水文特性 土地利用	A	B	C	D
建地	74	84	90	92
針葉林	25	55	70	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

註：土壤水文特性為土壤排水性及土壤質地之組合

資料來源：Dunne and Leopold, 1978

析結果顯示（圖 13、圖 14），1 號集水區多屬農地，地勢較緩，網格坡度差達 20%以上僅占集水區面積的 2.1%；2 號集水區，網格坡度差 20%以上之區位，約占集水區面積 5.7%。為了方便比較，兩集水區皆選用網格坡度差達 20%以上之區位作為緩衝帶配置門

表 7 影像判釋之誤差矩陣

Table 7 Error matrix of image interpretation

類別	裸地	水域	植生	水生植物	使用者精度
裸地	75	0	0	0	100.00%
水域	3	72	0	0	96.00%
植生	0	0	66	9	88.00%
水生植物	0	0	19	56	74.67%
生產者精度	96.51%	100%	77.65%	86.15%	

Overall Accuracy = 89.67% Kappa Coefficient = 86.22%

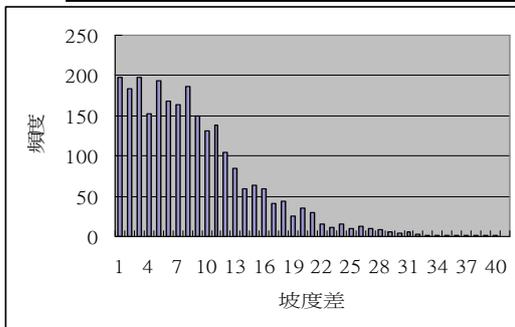


圖 13 一號集水區網格坡度差之頻度
Figure 13 Histogram of cell's gradient difference at No 1 watershed

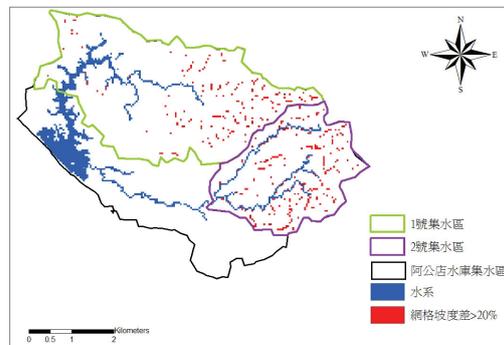


圖 15 集水區緩衝帶配置區位

Figure 15 Sites of placement for VBSs at the watersheds

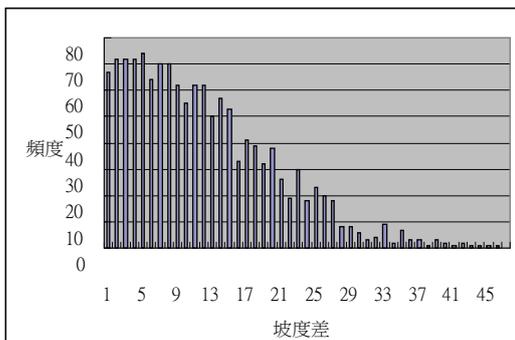


圖 14 二號集水區網格坡度差之頻度
Figure 14 Histogram of cell's gradient difference at No 2 watershed

檻 (圖 15)。若限於人力物力，2 號集水區緩衝帶之配置門檻可酌予調高至網格坡度差達 30%以上，即可縮小植生緩衝帶之配置面積。

(III)、集水區現況模擬

表 8 顯示一號集水區土地利用以闊葉林為主，約占總土地利用之 39.77%，其次為果園及農業用地約佔 30.42%，且大部分位於水庫上游河道週遭，研判 1 號集水區內營養鹽之產量為此區域之主要污染源；2 號集水區內亦以闊葉林為主，約為 48.60%，其次為裸露地 26.56%，而果園則涵蓋約 20.49%，顯示 2 號集水區主要污染源為泥砂量及營養鹽。以

AGNPS 進行兩集水區之現況模擬，表 9 顯示 1 號集水區內其總氮、總磷產量為最高，約為 86.03kg 與 43.02kg，其單位面積產量分別為每公頃 0.06kg 與 0.03kg，1 號集水區裸地較少，模擬結果泥砂產量不高；2 號集水區以泥砂產量與沖蝕深度較為嚴重，泥砂產量高達 145355.40 噸，集水區單位面積泥砂產量約每公頃 201.48 噸，平均沖蝕深度為 1.4cm，顯示 2 號集水區泥砂問題較為嚴重，而此區之總氮、總磷產量亦不低，分別為 39.9kg 與 19.95kg，單位面積總氮、總磷產量分別為每公頃 0.05kg 與 0.03kg。

(VI)、緩衝帶配置後模擬

兩集水區依網格坡度差 20%以上之區位配置植生緩衝帶，模擬顯示 1 號集水區以總氮、總磷之改善率較高，分別為 4.53%與 4.04%，其餘之改善不顯著（表 10）。2 號集水區以泥砂產量與沖蝕深度之改善率較大，分別為 10.89%與 8.57%，其次為總氮 6.94%、總磷 5.96%，以逕流洪峰量 1.92%之改善率最低（表 11）。在單位面積改善率部分，1 號集水區之單位面積改善率以總氮、總磷較高，分別為 0.16%與 0.14%；土地利用以泥岩裸地為主之 2 號集水區，以泥砂之減量率為

10.89%最高，其單位配置面積之減量率每公頃達 0.26%；而總氮之減量率約為 6.94%，總磷之減量率約為 5.96%，其單位配置面積減量率每公頃分別為 0.17%、0.14%，緩衝帶配置對 2 號集水區逕流量之改善率亦不明顯。

表 8 集水區土地利用類別面積統計

Table 8 Statistics of area for each landuse classification

土地利用類別	面積 (%)	
	1 號集水區	2 號集水區
水田	0.08	0
旱田	2.73	0.13
闊葉林	39.77	48.60
竹林	8.96	0.86
建築用地	3.67	2.33
墓地	0.96	0.04
果園	25.47	20.49
草生地	2.00	0.24
道路	1.29	0.60
水田	2.13	0
水池	5.99	0.13
裸露地	5.59	26.56
開墾地	1.05	0
雞豬舍菇寮	0.30	0

表 9 集水區現況模擬

Table 9 Simulation for watersheds before placement of VBSs

項目	1 號集水區		2 號集水區	
	產量	單位面積產量 (ha ⁻¹)	產量	單位面積產量 (ha ⁻¹)
沖蝕深度(cm)	0.49	-	1.40	-
逕流洪峰量(cms)	239.41	0.18	169.47	0.23
泥砂產量(ton)	94039.75	69.60	145355.40	201.48
總氮(kg)	86.03	0.06	39.90	0.05
總磷(kg)	43.02	0.03	19.95	0.03

表 10 一號集水區緩衝帶配置後模擬結果

Table 10 Simulation for No1 watershed after placement of VBSs

1 號集水區	緩衝帶配置		
	產量	改善率 (%)	單位面積改善率 (%)
沖蝕深度(cm)	0.49	0.00	0.000
逕流洪峰量(cms)	239.12	0.12	0.004
泥砂產量(ton)	93372.51	0.71	0.025
總氮(kg)	82.13	4.53	0.160
總磷(kg)	41.28	4.04	0.140

表 11 二號集水區緩衝帶配置後模擬結果

Table 11 Simulation for No2 watershed after placement of VBSs

2 號集水區	緩衝帶配置		
	產量	改善率 (%)	單位面積改善率 (%)
沖蝕深度(cm)	1.28	8.57	0.21
逕流洪峰量(cms)	166.22	1.92	0.04
泥砂產量(ton)	129523.45	10.89	0.26
總氮(kg)	37.13	6.94	0.17
總磷(kg)	18.76	5.96	0.14

結論

泥岩地區水土保持與植生綠化工作，宜以集水區為整體考量，若限於經費，可由極需處理之點切入進而面的配置；分期分區進行，方可達到預期的治理效果。整個保育治理流程，宜由衛星影像資料配合地理資訊系統的分析，篩選集水區植生復育之最佳區位，導入植生緩衝帶，再利用農業非點源污染模式評估整治前後之保育效果。除了植生緩衝帶之配置外，集水區主要潛在污染源之農作區內，應落實草生栽培、草溝、及農塘之設計。雖是自掃門前雪，若能將泥砂、營養鹽等農業非點源污染源留在自己的農地，

此即永續農業的精神，「源頭防治重於下游防堵」為泥岩地區植生復育所應有的理念。

謝誌

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. 林昭遠、林文賜 (2001)，「集水區資訊系統 (WinGrid) 入門」，暉帥股份有限公司。
2. 夏禹九、陳萱蓉 (2000)，「農業非點源汙

- 染模式應用於河川保護帶配置之探討」，
中華水土保持學報，30(1) : 1-12。
3. 萬鑫森、黃俊義(1981),「台灣西北部土壤沖蝕及流失量之估算」, 中華水土保持學報, 12(1) : 57-67。
 4. 萬鑫森、黃俊義 (1989),「台灣坡地土壤沖蝕」,中華水土保持學報,20(1):17-45。
 5. 駱尚廉, 蔡淑芬(1992)水庫優養化專家系統初探—水質評估, 中國環境工程學刊, 2(1) : 33-41。
 6. Bagnold, R. A. (1966) An Approach to the Sediment Transport Problem, General Physics Geological Survey, Prof. Paper 422-I, Washington.
 7. Dunne, T. and L. B. Leopold (1978) "Water in environmental planning" New York: WH Freeman.
 8. Rumelhart D. E. ,Hinton G. E. and Williams R. J. (1986) "Learning representations by back-propagating errors," Nature, vol. 323, pp. 533 --536.
 9. Foster, G. R., L. J. Lane, J. D. Nowlin, J. M. Lafflen, and R. A. Young (1981) "Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas," Trans. ASAE 24 : 1253-1262.
 10. Frere, M.H., J.D. Ross, and L. J. Lane (1980) The Nutrient Submodel. In CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. Conservation Research Report 26, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, pp. 65-85.
 11. Lane, L. J (1982) "Development of a procedure to estimate runoff and sediment transport in ephemeral streams," In recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield. pp.275-282. Proc. Exeter Symp. IAHS Publ. 137.
 12. Werbos P. (1974) Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences, Ph.D. Thesis, arvard University.
 13. Smith, R.E., and Williams J.R. (1980) Simulation of the surface hydrology. In Knisel, W., ed., CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System. U. S. Dep. Agric. Conserv.Res.Rep.26, Vol.1, Ch.2, pp.15.
 14. USDA-SCS (1972) Hydrology In National Engineering Handbook. U. S. Department of Agriculture-Soil Conservation Services, Washington, DC.
 15. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson (1989) "AGNPS : A nonpoint-soruce pollution model for evaluating agricultural watersheds," ournal of Soil and Water Conservation. 44(2):168-173.
 16. Young RA. (1994) Agricultural Non-point Source Pollution Model, Version 5.00 AGNPS User's Guide,USDA-Agricultural Research Service: 1-5.
 17. Wischmeier, W.H. and Smith D.D. (1978) "Predicting rainfall erosion losses", Agricultural Handbook 537, Agricultural

林昭遠、賴威任、莊智璋：水庫集水區植生緩衝帶配置區位及效益評估之研究

Research Service, United States
Department of Agriculture

18. <http://grunwald.ifas.ufl.edu/Projects/AGNPS/agnps.htm>

98年05月14日收件

98年06月01日修改

98年11月11日接受

水土保持學報 42(1) : 15-34 (2010)
Journal of Soil and Water Conservation, 42(1) : 15-34 (2010)