

集水區泥砂總量管理策略之研究

陳鴻烈⁽¹⁾ 蔡大偉⁽²⁾

摘要

本研究是以南投縣水里溪集水區為研究對象，運用集水區總量管理模式模擬總量管理策略之效益，以協助集水區總量管理策略的制定。研究中主要是使用美國環保署集水區管理模式來進行模擬，研究分為四部分：(1) 選擇適當總量管理目標 — 本研究決定以容許土壤流失量與環保署水質相關指標為依據。(2) 管理策略之選擇 — 在考量集水區與管理目標之特性後，決定以土地管理為重點。(3) 選擇管理重點區 — 經由細部土地利用分析後，決定以第 5、14 號子集水區之農地中旱田耕種為管理目標。(4) 管理效益之評估 — 透過模式模擬結果發現以同時治理第 5、14 號子集水區之效果最好，泥砂產量控制效益為 3046 ton/year，河道懸浮質則為 0.325%。最後整合模擬結果可知，在泥砂產量方面，集水區已接近土砂平衡狀況，因此不需執行管理策略；在懸浮質方面，因未達總量管理標準，且管理策略成效不顯著，未來仍需配合其他管理辦法來加強此區之水質管理。

(**關鍵詞**：總量管理、泥砂產量、水里溪集水區)

Watershed Management Strategy for Total Maximum Daily Load of Sediment

Paris Honglay Chen

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, 402 Taichung, Taiwan

David D-W. Tsai

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

ABSTRACT

This research is to simulate the benefits of total maximum daily load (TMDL) management of sediment in Shuili-stream watershed, Nantou county. We hope the results can be useful for establishing watershed management policy of TMDL. The TMDL model we used came from US EPA. The study approach was divided into four parts. The first part was to choose the standards of

(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博士班研究生

sediment TMDL, and our choices included soil loss tolerance and water quality standards of Taiwan EPA. The second part was to choose suitable management method. After considering the characteristics of watershed and management target, we focused on landuse management. The third part was to find out the emphasized area of management. By analyzing the detail landuse we adopted the dry farmland in NO.5 and 14 subbasin to be the main management target. The fourth part was to estimate the efficiency of landuse management. The simulation results indicated the best efficiency was shown when No.5 and 14 subbasin were simultaneously managed. The management efficiencies for sediments and river suspended solids were 3046 ton/year and 0.325%, respectively. For sediment yield of this watershed, it is close to the balance condition; i.e., this area is no need to execute soil erosion management. Additionally, average suspension loads were still higher than water quality standards. This phenomenon exhibited our management strategies need to be adjusted and to consider adopting other methods to enhance water quality management of this watershed in future.

(Key words: TMDL management, sediment TMDL, Shuili-stream watershed)

前 言

台灣在經濟起飛後，平地開發已漸趨飽和，因此許多人為活動便轉往山坡地發展。然而，在未妥善管理下，不當的農地、建地、道路、觀光等產業開發，致使坡地土砂輸送失去平衡，大量土壤因而流失，亦喪失寶貴之水土資源。有鑑於此，未來必須加強管制並施以有整體考量之規劃，以減少人類活動之衝擊，使環境資源能永續發展。

本研究是以南投縣水里溪集水區為管理對象，針對泥砂產量的問題進行管理策略研擬，希望透過總量管理的方式，以及土地管理的方法來達到總量減量之目標。另外，透過集水區總量管理模式對各種不同管理策略之效益評估，可作為未來決定集水區管理工作執行時之參考。

文獻回顧

本研究主要目的是針對集水區泥砂進行

總量管理，而總量管理之重要工作項目之一為訂定總量管理目標，此目標需以當地自然、人文環境資源、國家目前開發程度，以及管理目標之相關學術研究成果等條件為依據來制定，以選擇最符合目前狀況，且執行效率最高之總量管理目標 (USEPA, 2004a)。

由於本研究將泥砂總量分為坡地泥砂產量與河道懸浮質負荷兩部分，因此管理目標亦應分別選擇制定 (USEPA, 2004b)。

一、坡地泥砂產量管理目標

在台灣可使用容許土壤流失量來作為坡地泥砂產量管理之參考，當泥砂產量大於容許土壤流失量時，表示土壤流失率已大於生成率，此時即需採取相關管理措施。以下將容許土壤流失量指標 (soil loss tolerance, T) 簡介如下 (吳嘉俊等, 1996)：

容許土壤流失量之主要考量目標為維持土壤之生產力，而影響其容許量之因子包括 (1) 土壤深度、(2) 母質種類、(3) 表土與底土的相對生產力，及 (4) 先前的土壤沖蝕量。

(一) 土壤深度

一般而言，土壤深度越深，植物之根系

可穿透厚度較大，因此在適當管理措施下，可容許較高之土壤流失量而不至於影響土地生產力。

(二) 母質種類

較為鬆散、肥沃之母質，其土壤生成速率較佳，因此可容許較高之土壤流失量。

(三) 表土與底土的相對生產力

當表土較底土具有更佳之土地生產力時，表土之沖蝕對土地生產力影響較大，因此可容許之土壤流失量較低。

(四) 先前的土壤沖蝕量

在一土地上已有嚴重沖蝕情形發生時，此時即無法再容許土壤繼續流失，因此可容許之土壤流失量就會很低。

盧光輝 (1995) 根據年降雨量、表土與根系生長深度、排水、底土黏盤是否存在、表層土壤堆積作用等 5 個因子計算台灣之可容許土壤流失量：

$$T = \frac{DP \times RA}{6PM + 4DR}$$

T：可容許土壤流失量 (t/ha-yr)

DP：土壤有效深度 (cm)

RA：年降雨量等級

PM：母岩性質等級

DR：排水能力等級

二、河道懸浮質負荷管理目標

在河道懸浮質負荷管理方面，可參考環保署評估河川水質之綜合性指標——「河川污染程度指標 (River Pollution Index, RPI)」。RPI 指標係以水中溶氧量 (DO)、生化需氧量 (BOD5)、懸浮固體 (SS)、與氨氮 (NH₃-N) 等四項水質參數的濃度值來計算指標積分值，並判定河川水質污染程度(環保署，1998、

2006)。

另外，依據環保署甲類水體標準 (環保署，1998)，符合甲類水體者，懸浮固體量需低於 25 mg/l，可作為另一參考標準。

研究方法

本研究主要目的是進行集水區泥砂總量管制工作，希望藉此協助擬定最佳集水區管理策略。研究先蒐集集水區相關資料，在瞭解目前集水區概況後，再依據此資料建立模擬集水區泥砂總量基本資料庫。本研究採用美國官方集水區總量管理模式進行模擬，在透過模式參數校正與驗證後，即可獲得此集水區之泥砂總量 (陳鴻烈、蔡大偉，2007a)。

完成集水區泥砂總量模擬後，接著進行總量管理工作。先訂定總量管理目標，在參考國內外相關研究並考量此集水區之現況與環境後，選擇一最合理適當之管理目標。

研究希望能藉由土地利用管理來達到管理目標，而為了提昇管理效率，必須先選擇重點集水區，在分析集水區中子集水區之土地利用分佈資料後，再以此為依據選擇管理區域。而本研究重點將集中在農業開發區域管理，在選出重點管理區域後，再進行該子集水區之農業區細部土地利用分析，以了解目前開發概況，藉此以研擬可能土地管理策略，接著再透過總量管理模式來模擬各種策略之效益。最後，經過效益分析評比的結果，針對集水區目前土地利用提出總量管理策略之建議。本研究主要流程可整理如圖 1。

結果與討論

一、集水區相關資料蒐集

本研究主要是使用模式進行模擬，因此必須蒐集模式模擬所需之基本資料，包括地文、水文、土地利用、氣象觀測、水質監測等 (USEPA, 2004c; 陳鴻烈、蔡大偉, 2007b)。資料蒐集後，先進行集水區水文現象模擬，在經過模式基本參數之校正與驗證後，可建構模式中集水區整體架構，包括水系系統、水文循環、相關地文參數等，以利於後續集水區總量模擬工作 (陳鴻烈、蔡大偉, 2007c)。

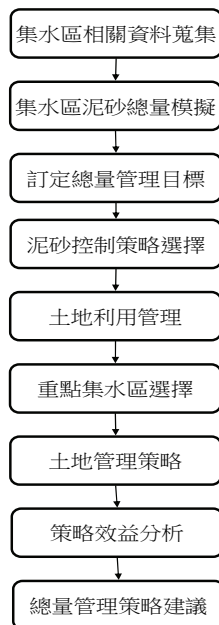


圖 1. 研究流程圖

Figure 1. Overview of research method.

二、集水區泥砂總量模擬

本集水區泥砂總量模擬乃透過美國官方集水區總量管理模式進行模擬 (USEPA, 2004d ~ f)，由於缺乏現地觀測值的緣故，模擬結果必須經過合理性探討，在經過國內相

關資料與研究文獻比較後，證明研究中模擬量為合理且準確。最後模式之模擬結果，在坡地泥砂產量方面為 63642 ton/year；在河道懸浮質部分則如圖 2 所示 (陳鴻烈、蔡大偉, 2007a)。

三、訂定總量管理目標

集水區泥砂總量之計算包含兩部分，即坡地泥砂產量與河道懸浮質負荷，因此在進行管理目標之訂定時，應將二者分別考量。

(一) 坡地泥砂產量管理目標

台灣可使用容許土壤流失量 (soil loss tolerance, T) 作為坡地泥砂產量管理之標準，其定義為土壤流失速率控制在土壤生成率之下時之土壤流失量。而在此集水區內，目前相關之研究資料有兩處，分別是車埕與日月潭，其容許土壤流失量分別為 10 與 20 ton/ha/year (吳嘉俊等, 1996)。

(二) 河道懸浮質負荷管理目標

根據環保署河川污染程度指標 (River Pollution Index, RPI) 之規定，在未受污染之河川水質中，其懸浮質負荷應控制在 20 mg/l 以下 (環保署, 2006)。

四、泥砂控制策略選擇與土地利用管理

在集水區泥砂控制工作上，有許多策略可供選擇，譬如點源控制、土地利用管理、加強水庫經營管理、增設水庫、洪峰控制、最佳管理措施 (BMPs)、廢棄土處理、植生工程等 (USEPA, 2004g)。而最佳策略之選擇，必須依據管理者的經驗，選擇經濟效益最高、管理成效最佳者作為未來管理的方向。在本研究水里溪集水區中，土地利用較為單

純，大部分土地利用為森林所覆蓋，而主要開發為農業與觀光產業，集水區居住人口密度並不高，因此相信只要能實施合理的土地利用開發，即可有效減少集水區之土壤流失量。所以本研究將以土地利用管理為主要管

理策略、農業區為主要管理對象，希望將不合理之農業開發區位逐年恢復造林，藉由森林覆蓋來發揮保土護坡之功能，減少坡地土壤流失量，亦可藉此減少河道泥砂量運移，降低懸浮質負荷。

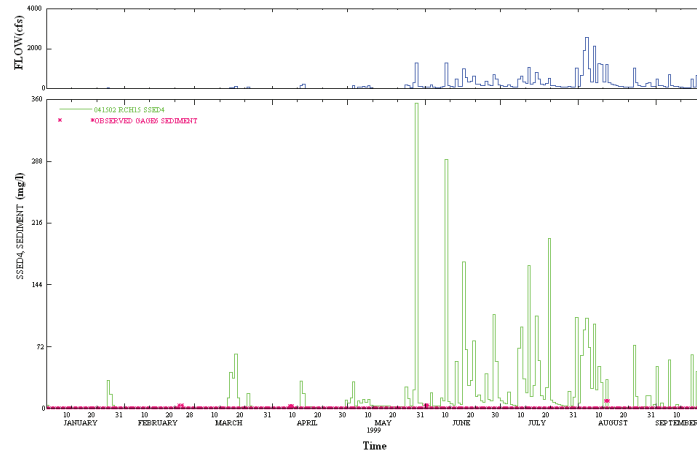


圖 2. 河道懸浮質模擬結果

Figure 2. Simulation results of river suspension loads.

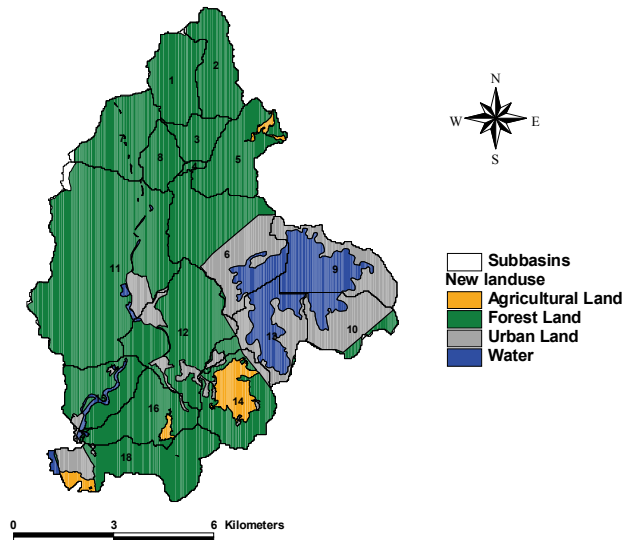


圖 3. 集水區土地利用分佈

Figure 3. Landuse distribution of watershed.

五、重點集水區選擇

本集水區之土地利用分佈概況如圖 3 所示，圖中顯示集水區中大多為森林覆蓋。由於本集水區之主要水文、水質測站均設於第 15 號子集水區 (台電，1998~2003)，因此研究將以 15 號子集水區作為控制區，計算此區以上之泥砂總量，來進行總量管理工作。

表 1 為集水區土地利用分佈情形，可知主要土地利用為森林，佔全區面積 71%，表示此集水區覆蓋良好；其次為鄉村都市開發用地，約佔 16%；再其次為水體，佔 11%，比例甚高，原因是此集水區中有日月潭、明潭、明湖等中大型水庫，因此靜水面積較大；面積最小者為農業開發，約佔 2%，雖其面積最小，卻是泥砂產量的主要來源之一。

接著，研究對每一子集水區進行細部土地利用分析計算，包含各子集水區之各種土地利用面積，以及可滲透地(Pervious Area)與非滲透地(Impervious Area)的比例等。表中資料顯示除了第 9、10、13 號子集水區外，其他子集水區多以森林覆蓋為主要土地利用型態。9、10、13 號子集水區因位於日月潭國家風景區，故開發程度較高，導致森林覆蓋率低。

表 1. 集水區土地利用分佈

Table 1. Landuse distribution of watershed.

Landuse	Forest	Agriculture	Urban Area	Water	Total
Area (acre)	13581	457	3070	2017	19125
Percent-age (%)	71	2	16	11	100

因本研究將管理重點置於農業開發區，故將以具有較高程度農業使用之集水區為管理重點。本集水區主要農業開發均集中於第 5 與 14 號子集水區，因此本研究選擇此二集水區作為管理重點區。

在選定第 5 與 14 號集水區為重點管理區後，進一步針對兩集水區之農業開發區域進行細部農業土地利用分析，以了解目前集水區開發類型與概況，以協助訂定細部土地管理策略。

(一) 第 5 號子集水區

此集水區之農業區細部土地利用如圖 4 所示，由圖中可看出主要是旱田耕種與檳榔園開發。由表中數據可知除了荒地外，此區主要農業開發類型為旱田、檳榔椰子、雞豬舍香菇寮，分別佔 19、16 與 13%。因此，若此集水區要進行泥砂總量管理工作時，將以旱田為主要目標。

吳輝龍等 (1995) 指出，檳榔椰子種植雖然對坡地泥砂穩定有負面的影響，其穩定邊坡能力亦不如森林覆蓋，但其於暴雨期間之沖蝕量才會有劇增的現象，只要於其地表有完整的植相覆蓋，沖蝕量並不十分顯著，甚至低於蔬菜、果園、茶園等其他類型之農業開發，因此，本研究暫不以檳榔椰子為主要管理對象。而雞豬舍香菇寮雖然同樣需妥善管理，但由於本研究管理目標為泥砂總量，故暫不以該利用類型為優先考量。

(二) 第 14 號子集水區

經過 GIS 分析後，第 14 號子集水區之農業區細部土地利用如圖 5，由圖中可大略觀察

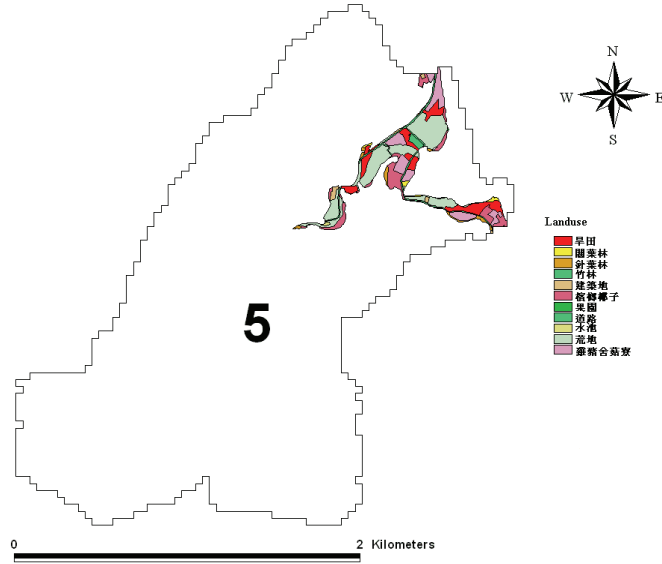


圖 4. 第 5 號子集水區農業區細部土地分佈圖

Figure 4. Detail landuse distribution of agriculture zone in No.5 subbasin.

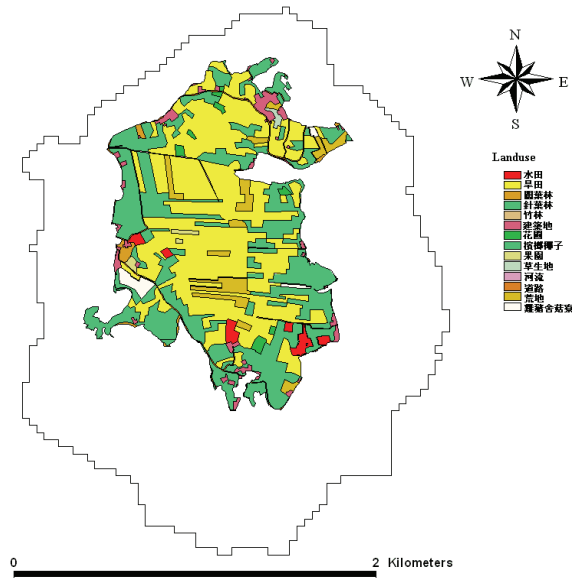


圖 5. 第 14 號子集水區農業區細部土地分佈圖

Figure 5. Detail landuse distribution of agriculture zone in No.14 subbasin.

出此集水區之主要農地利用類型為旱田與檳榔椰子開發，最大開發面積者為旱田，佔 48.8%；其次為檳榔椰子，佔 36.8%。因此，基於與第 5 號子集水區之相同理由，此子集水區同樣以旱田為主要管理目標，希望將旱田開發區域逐年恢復為林相，亦即採用人工造林方式逐漸增加該區之森林覆蓋面積。

六、土地管理策略

土地管理策略是以各子集水區之細部土地利用分析結果來擬定。本研究將以集水區中第 5 與 14 號子集水區為主要管理目標，並將管理重點放在農業區，管理方法是將農業區中旱田耕種部分逐漸復育為森林地，以森林覆蓋來保護地表土壤，減少沖蝕量，亦藉此降低河道中懸浮質之數量。因此，本研究共將模擬 3 種土地管理策略，亦即 (1) 第 5 號子集水區旱田復育為森林、(2) 第 14 號子集水區旱田復育為森林，及 (3) 第 5 與 14 號子集水區同時將旱田復育為森林。

七、策略效益分析

本研究將針對上述 3 種可能之土地利用管理策略進行模擬分析，以得知實行策略後之可能效益，經過效益分析後，其結果可作為決策之參考。

(一) 策略一：5 號子集水區旱田復育為森林

在第 5 號子集水區之農業區中有 19% 為旱田，面積約為 10 英畝，若將其恢復為森林地後，對坡地運移至河道之泥砂量的影響如表 2 所示。由表中可知，經管理策略執行後，整個集水區之旱田面積由 206.328 英畝降至 195.688 英畝，因此農地面積由 457 英畝減至 446.36 英畝，而將減少之農地復育為森林

後，森林覆蓋面積將由 13581 英畝增至 13591.64 英畝。因此，經過土地利用變遷後，沖蝕量可由 63642 降至 63485 ton/year，共減

表 2. 第 5 號子集水區管理前後泥砂量差異
Table 2. Differences of sediment before and after management in No.5 subbasin.

項目	管理前	管理後
旱田面積 (acre)	206.328	195.688
農地面積 (acre)	457	446.36
森林面積 (acre)	13581	13591.64
坡地泥砂產量	251821	251199
運至河道之沖蝕量 (ton/year)	63642	63485
管理效率 (ton/year)	157	

少 157 ton/year，其管理效率並不十分顯著，主要是因變更之旱田面積小，故對整體集水區之影響程度不大。然而若將沖蝕量除以模擬區域總面積 7740 公頃後，得到年沖蝕率為 8.202 ton/ha/year，在容許土壤流失量 10-20 ton/ha/year 之下，因此仍為可接受的結果。

在河道懸浮質影響方面，其結果如圖 6 所示，圖中紅線為管理前模擬結果，綠線則為管理後之影響。由圖中可看出兩線幾乎重疊，計算其平均減量率約為 0.036%，這表示管理前後並未對河道懸浮質造成明顯影響，推論原因同樣是因為土地利用改變面積過小，因此對整體集水區影響甚小。另外，圖中紫線為甲類水體中未受污染時之懸浮固體標準 25 mg/l，橙線為 RPI 標準 (20 mg/l)，由圖中可知河道懸浮質高於此兩標準之時間甚多，未來仍需進一步進行管理，以逐漸改善河道情形。

(二) 策略二：14 號子集水區旱田復育為森林

在第 14 號子集水區方面，假設此區之農業區旱田部分全部復育為森林地，其泥砂產量變化結果如表 3 所示。由表中可看出在減少旱田耕種面積且增加森林覆蓋區域後，坡地泥砂產量有下降的趨勢，由 63642 降至 60753 ton/year，管理效率約為 2889 ton/year。由於第 14 號子集水區之旱田耕種面積為 195.69 acre，明顯大於第 5 號子集水區的 10.64 acre，因此管理效率較高，然而對於整體集水區而言尚不夠明顯。不過，其年沖蝕率 7.849 ton/ha/year 仍在容許土壤流失量標準之下。

表 3. 第 14 號子集水區管理前後泥砂量差異

Table 3. Differences of sediment before and after management in No.14 subbasin.

項目	管理前	管理後
旱田面積 (acre)	206.328	10.64
農地面積 (acre)	457	261.312
森林面積 (acre)	13581	13776.69
坡地泥砂產量	251821	240391
運至河道之沖蝕量 (ton/year)	63642	60753
管理效率 (ton/year)	2889	

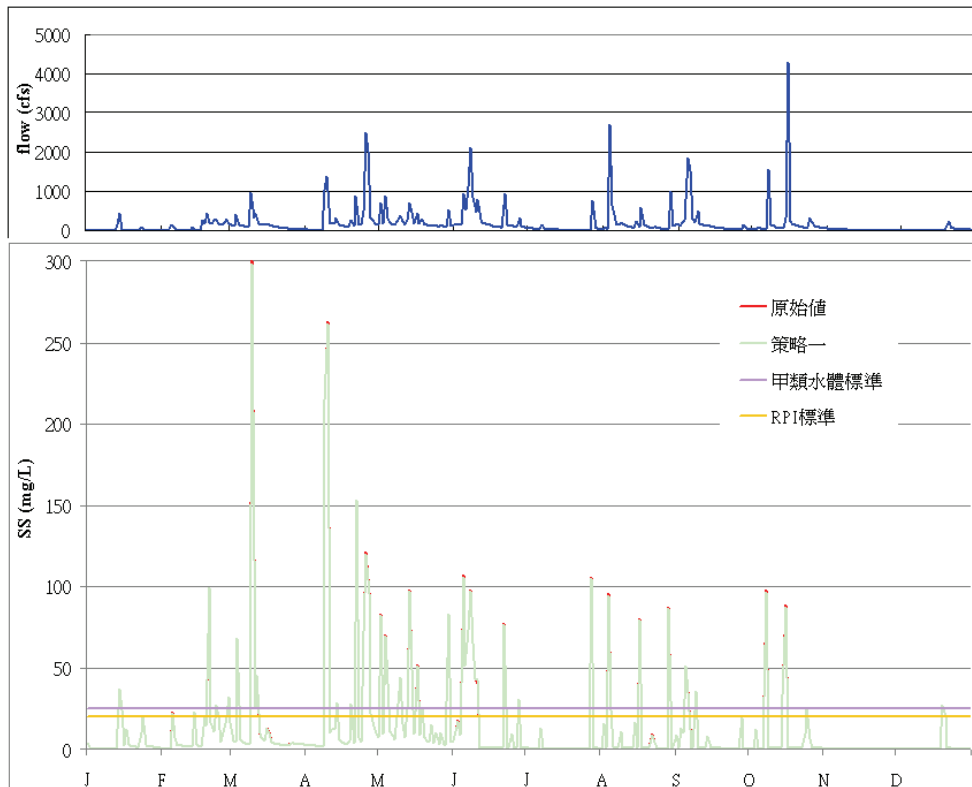


圖 6. 第 5 號子集水區管理前後懸浮質差異

Figure 6. Differences of suspended solids before and after management in no.5 subbasin.

在土地利用管理對河道懸浮質影響方面，其模擬結果如圖 7，由圖中可看出在此管理策略執行後，對懸浮質減量效果較策略一為佳。由管理前後懸浮質負荷差值除以管理前之負荷後，得其平均減量率為 0.296%，為策略一模擬結果之 8 倍左右，但整體觀之並不够明顯，主要原因仍為農地面積改變率有限，對整體集水區之影響並非十分顯著。在策略執行後，由圖 7 可看出河道中懸浮質負荷仍有許多超出環保署的標準，因此在執行策略後仍需配合其他管理措施持續減少河道懸浮質負荷，使能接近管理目標。

(三) 策略三：5 及 14 號子集水區同時將旱田復育為森林

由於前述分別以第 5 及第 14 號子集水區進行農業土地管理策略之效果並不十分顯著，因此研究中嘗試將兩個子集水區同時進行農地變更來模擬此策略之管理效益。由表 4 可知，二子集水區同時進行管理之效率最佳，泥砂減量達 3046 ton/year，但對整體集水區總量減少之效益仍不足。原因同前，因農地開發在本研究所模擬之集水區中僅約佔總面積的 2%，故改善泥砂產量之效益有限。

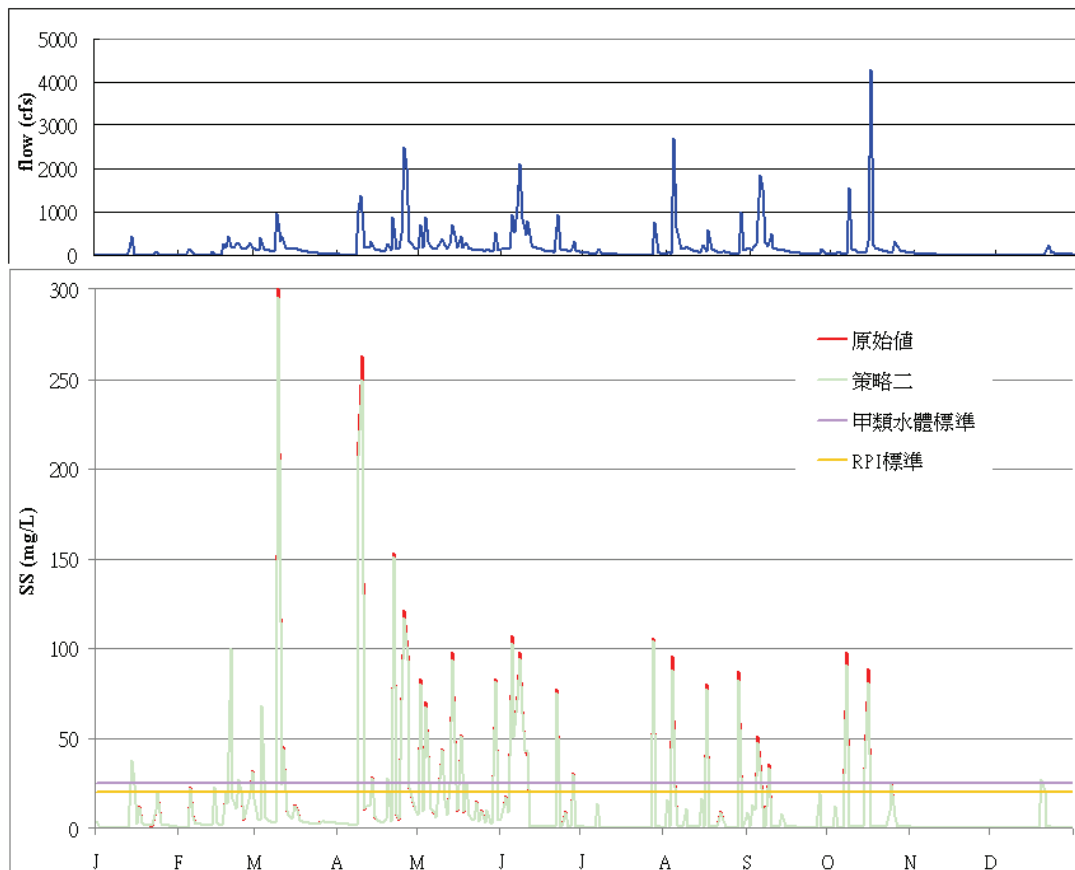


圖 7. 第 14 號子集水區管理前後懸浮質差異

Figure 7. Differences of suspended solids before and after management in No.14 subbasin.

表 4. 第 5 及 14 號子集水區管理前後之泥砂量差異

Table 4. Differences of sediment before and after management in No.5 and 14 subbasin.

項目	管理前	管理後
旱田面積 (acre)	206.328	0
農地面積 (acre)	457	250.672
森林面積 (acre)	13581	13787.33
坡地泥砂產量	251821	239769
運至河道之沖蝕量 (ton/year)	63642	60596
管理效率 (ton/year)	3046	

在效益最佳之策略三執行後，由年泥砂產量除以集水區面積可得集水區年泥砂產率 7.829 ton/ha/year，低於容許土壤流失量 10 ton/ha/year 之標準，因此集水區整體泥砂沖蝕量仍屬可接受之範圍。

將坡地泥砂產量乘以泥砂遞移率後即可得運移至河道之泥砂量，由表 4 可看出在執行管理策略三後，泥砂量減至 60596 ton/year，亦使河道懸浮質負荷降低，其模擬結果如圖 8 所示。由圖中可知其模擬結果與圖 7 相當接近，這代表第 5 號子集水區之管

理效益並不理想，因此對整體集水區而言影響不大，但其結果仍較策略二佳，平均減量率為 0.325%，較策略二之管理效率約提昇 1.1 倍。然而仍出現許多超過水質標準的時間，表示尚需配合其他管理策略來加強管理效益，使當地的水質能逐漸符合環境標準。

八、總量管理策略建議

本研究所採用之土地管理策略包括：(1) 第 5 號子集水區旱田復育為森林 (策略一)，(2) 第 14 號子集水區旱田復育為森林 (策略二)，及 (3) 第 5 與第 14 號子集水區同時將旱田復育為森林 (策略三)。表 5 為各種策略之管理效益，由表中可看出以策略三之效果最佳，泥砂管理效率為 3046 ton/year，河道懸浮質為 0.325%。另外，策略一之效果最差，泥砂管理效率為 0.25%，河道懸浮質則為 0.036%。造成此一結果的主因為，本研究之管理效率是以整體集水區的觀點觀之，主要管理目標為沖蝕情形最嚴重的農地開發區，但農地總面積僅佔全集水區之 2%，故管理效率無法十分顯著。至於針對個別單一子集水區之管理效率的計算，則因資料不足，而無法進行詳細之模擬計算。

表 5. 所有策略之管理效率比較

Table 5. Comparisons of all management strategies.

策略	策略內容	管理前 坡地泥砂 產量 (ton/year)	管理後 坡地泥砂 產量 (ton/year)	泥砂產量 管理效率 (ton/year)	懸浮質 管理效率 (%)
一	第5號子集水區旱田復育為森林	63642	63485	157	0.036
二	第14號子集水區旱田復育為森林	63642	60753	2889	0.296
三	第5與14號子集水區同時旱田復育為森林	63642	60596	3046	0.325

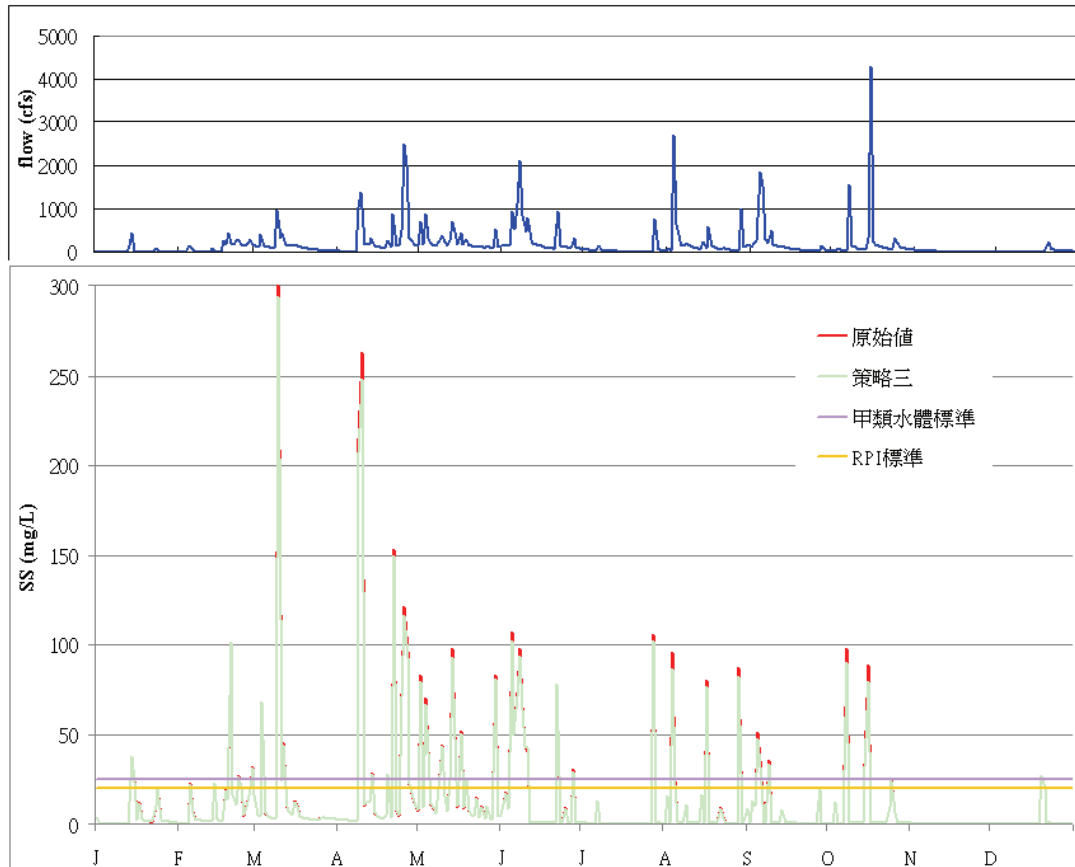


圖 8. 第 5 及 14 號子集水區管理前後懸浮質差異

Figure 8. Differences of suspended solids before and after management in No.5 and 14 subbasin.

本研究希望藉由總量管理模式來模擬各種可能的策略對總量管理效益的影響，研究中所採用的土地管理策略主要集中在農業區旱田之復育，希望透過森林水土保持的功能來減少坡地土壤流失量。然而，由模擬結果可知管理效率並不顯著，除了因土地利用更動面積不大外，此集水區多為森林所覆蓋，其年沖蝕率 (8.222 ton/ha/year) 已低於該區之容許土壤流失量，亦是影響土地管理成效不夠顯著的原因之一。

結論與建議

在進行集水區管理工作時，依據當地的環境、人文、生態等特性，常有眾多的管理策略可供選擇。此時，在考量眾多因素後，必須選擇其中最經濟、最有效率，且最符合永續經營概念之對策，以協助集水區朝永續發展的目標邁進。在管理集水區泥砂產量方面，總量管理為未來的重要趨勢，而土地利

用管理則是其中一管理效益高，且符合永續經營導向之策略應用。因此，日後在進行相關集水區管理工作時，可將其作為重點考量之一，以協助提升管理工作之效益。

本研究在進行管理工作前，透過集水區土地利用分析來尋找重點管理區域。由於土地利用類型中，以農地開發之沖蝕情形最為嚴重，因此將其視為管理目標。經分析後選出集水區中第 5、14 號子集水區為重點區，然後進行更細部的土地利用分析，以探討優先處理標的，結果顯示以旱田之影響最大，故將它列為第一優先管理。管理的方式為森林復育，希望藉由森林覆蓋，減少土壤流失量，進而降低河道懸浮質負荷。

由三種土地管理策略之管理效益模擬結果可知，同時治理兩個子集水區之策略三的成效最佳，泥砂產量管理效益為 3046 ton/year，河道懸浮質為 0.325%。就整體集水區而言，管理效益並不顯著，主要原因有二：(1) 土地管理面積過小，管理重點雖是農地部分，但其開發面積僅為總面積之 2%，故影響有限。(2) 本集水區在未執行土地管理前，年沖蝕率為 8.222 ton/ha/year，已低於該區中容許土壤流失量 10-20 ton/ha/year，因管理前之泥砂產量已接近土砂平衡，故管理效益無法彰顯。

在河道懸浮質負荷模擬方面，即使是執行管理效益最佳之策略三，平均而言仍超過環保署的水質標準，因此未來必須進一步研究擴大土地管理範圍或搭配其他管理策略，如最佳管理措施 (BMPs) 的執行，來降低懸浮質，使水質逐漸接近總量管理目標。

誌謝

本研究承蒙國科會計畫編號 NSC93-2621-Z-005-011 經費補助，使本文得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

1. 台灣電力公司明潭發電廠 (1998~2003)，「明潭發電廠運轉期間環境監測計畫」。
2. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲 (1996)，「土壤流失量估算手冊」，國立屏東技術學院，屏東縣。
3. 吳輝龍、張文詔、黃俊德 (1995)，「坡地檳榔園試區水土流失量第一年成果初步探討」，中華水土保持學報，第 26 卷，第 3 期，第 197-209 頁。
4. 陳鴻烈、蔡大偉 (2007a)，「總量管理模式集水區泥砂總量推估之研究」，水土保持學報。
5. 陳鴻烈、蔡大偉 (2007b)，「最佳集水分區模擬之研究」，水土保持學報。
6. 陳鴻烈、蔡大偉 (2007c)，「總量管理模式氣象模擬與水文校正之研究」，水土保持學報。
7. 盧光輝 (1995)，「台灣容許土壤流失量之訂定」，中美陡坡土壤流失量推估技術研討會論文集，pp.53-70。
8. 環保署 (1998)，「地面水體分類及水質標準」。
9. 環保署 (2006)，「水質評估指標」，網址：www.epa.gov.tw/b/b0100.asp?Ct_Code=05X0000747X0001137。

水土保持學報 41(1) : 93-106 (2009)

Journal of Soil and Water Conservation, 41(1) : 93-106 (2009)

10. USEPA (2004a), "BASINS Exercises" , U.S. Environmental Protection Agency.
11. USEPA (2004b), "BASINS Case Study" , U.S. Environmental Protection Agency.
12. USEPA (2004c), "BASINS User Manual" , U.S. Environmental Protection Agency.
13. USEPA (2004d), "BASINS Appendix" , U.S. Environmental Protection Agency.
14. USEPA (2004e), "BASINS Technical Notes" , U.S.Environmental Protection Agency.
15. USEPA (2004f), "HSPF User Manual" , U.S. Environmental Protection Agency.
16. USEPA (2004g), "BASINS Lectures" , U.S. Environmental Protection Agency.

97 年 08 月 27 日 收稿

97 年 11 月 07 日 修改

97 年 11 月 09 日 接受