

# 集水區窪蓄區位自動萃取之研究

林昭遠<sup>(1)</sup>張嘉琪<sup>(2)</sup>鄭旭涵<sup>(3)</sup>

## 摘要

台灣山區地形陡峻加上降雨不均，即使年雨量相當豐富，實際可用水量卻常不足，必須倚靠種種方式貯蓄水源，因此；水資源的經營利用為當務之急。水資源再利用有利水、治水之效益，利用集水區自然窪蓄區位來貯蓄水資源可達滯洪、沉砂功能外，亦能保持集水區生態系統的穩定性，且所貯存之水資源亦可供灌溉等其他用途使用，可增加土地利用的價值。本研究以新竹縣寶山鄉油田村為分析案例，利用數值高程模型（Digital Elevation Model ,DEM）自動萃取集水區窪蓄區位及相關資訊，可供坡地保育規劃設計及管理之參考。分析結果顯示，油田村水資源豐沛、無缺水之虞，惟部份區位坡度較陡，豐沛雨水易形成逕流，若植生覆蓋不良，水資源無法留蓄，易發生土壤沖蝕，因此油田村窪蓄區位以沉砂、滯洪及水源涵養為主要功能。

（**關鍵字**：數值高程模型、窪蓄區位、集水區）

## A study of automatically delineated the watershed topographic depressions

*Chao-Yuan Lin*

Professor, Department of Soil and Water Conservation  
National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C. (Corresponding Author)  
E-mail:cylin@water.nchu.edu.tw

*Chia-Chi Chang*

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

*Jero-Hertz Jeng*

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

---

(1) 國立中興大學水土保持學系教授（通訊作者）

(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班研究生

## ABSTRACT

Taiwan with heavy annual precipitation still shows a deficit in water use due to the characteristics of steep topography and uneven rainfall at the mountain areas. Hence, how to manage water resources for reasonable utilization is an urgent task. Recycling water resources has the benefits of conservation. Using watershed topographic depressions to storage excessive water can create multi-purpose functionality more efficient in water use for the related facilities on slopeland, such as flood detention, sedimentation, ecosystem stability, providing irrigation water, and increasing the value of land use. A case study of Youtian village in Baoshan Township at Hsinchu County is used in this study to extract the related information of watershed topographic depressions automatically by using Digital Elevation Model for the reference of slope land planning. Results show that Youtian village without deficit in water resource, while areas of steep topography lack of vegetation cover, which contribute to runoff concentration and soil erosion. Topographic depressions in Youtian village can be created to act as the function of sedimentation, detention, and water conservation.

(**Keywords:** DEM, topographic depressions, watershed)

續維持少量的水位，除沉砂滯洪功能外亦能提供生態系統的穩定性，於河川基流量的確保上也將有所助益。

## 前言

台灣地區高山陡峻、地質條件不佳且降雨時空分佈不均，加上近年來部分地區都市化迅速，造成集流時間縮短洪峰流量變大，因此，即使平均年降雨量相當豐富，實際可利用的水量卻不多。地面水利用受到差異甚大的豐枯流量所限制，致使水源涵養不易。降雨分配不均情況下，必須倚靠種種方式貯蓄水源，傳統水資源工程觀點多為建置水庫，然而適合的壩址已不易尋覓，而地面及地下水也已開發殆盡，因此，現有水資源的經營利用實為當務之急。

水資源再利用有利水、治水之效益，農塘或窪蓄地區即係以直接開挖地面或利用地面較為低窪處貯蓄水源，能供農業灌溉用水，增加土地利用價值；若農塘與窪地可持

本研究以新竹縣寶山鄉油田村為分析案例，利用數值高程模型（Digital Elevation Model,DEM）自動萃取集水區窪蓄區位及相關資訊，俾供坡地保育規劃及管理之參考。

## 材料與方法

### 1. 研究區域

#### (1) 地理環境概述

油田村位於新竹縣寶山鄉，左鄰三峰村，右接山湖村，上鄰寶山村，下接石井村，東西長 4.5 公里，南北長 4.2 公里，面積為 985.44 公頃(圖 1.)，村內有石井溪貫流而過，石井溪為峨眉溪的支流，呈東北至西南走

向，發源自大壩山峽澗，流域含山湖、油田、三峰等村，流到北埔鄉後注入峨眉湖，最後再注入中港溪。另外，客雅溪上流支流南坑溪亦流經油田村西北側。油田村土壤酸性強，適合種植茶、柑橘、柿、楊桃、橄欖、水梨、香茅等作物，尤以盛產橄欖著名。

(2) 氣候環境概述

油田村高程以 110-150 公尺為主，依據 Thornthwaite 與 Mather (1955) 之氣候分類法分析氣候型，屬亞熱帶濕潤氣候，其年雨量約為 1800mm，月平均雨量以 9 月 260.3mm 為最高，11 月 37.5mm 為最低。年平均溫度為 22℃，冬季平均約為 17℃，平均相對濕度約為 80%。

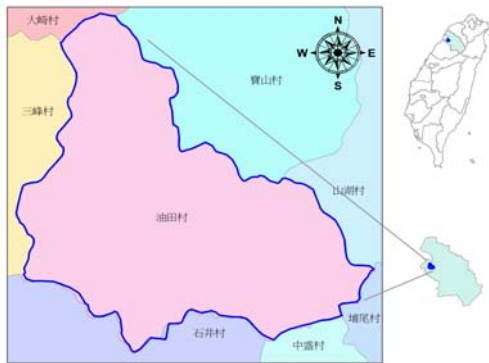


圖 1、油田村地理位置圖

Fig. 1 Location of Youtian village.

2. 水收支分析

以 1997~2006 年間中央氣象局主要測站之氣象資料，分析台灣地區各主要測站之月平均輻射量、氣溫、相對濕度、降水量、蒸發量、風速等資料，再依據 Thornthwaite 與 Mather(1955)之氣候分類法，分析各地區之氣候型，Thornthwaite and Mather 氣候分類法乾濕氣候界限與氣候副型如表 1 及表 2 所示。

Thornthwaite 與 Mather 定義濕潤指數(Im)如下：

$$I_m = I_h - I_d$$

$$I_h = 100 \frac{S}{P_e}$$

$$I_d = 100 \frac{D}{P_e}$$

$$I_m = 100 \frac{P - P_e}{P_e}$$

一式中：I<sub>h</sub> 為濕度指數(humidity index)；I<sub>d</sub> 為乾旱指數(aridity index)；S 為剩水量 (S=P-A<sub>e</sub>)；D 為缺水量 (D=P<sub>e</sub>-A<sub>e</sub>)，P 是降水量，A<sub>e</sub> 是實際蒸發散量 (actual evapotranspiration)，P<sub>e</sub> 是潛在蒸發散量 (potential evapotranspiration)。對於水分充分供應之草地，潛在蒸發散量可用 Penman 方法估算(Penman, 1963)。Jensen 等 (1990) 將 Penman 之潛在蒸發散量計算式改寫成公制單位如下：

$$\lambda P_e = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 6.43(1.0 + 0.53v)(e_s - e_d)$$

式中：λ 是水之蒸發潛熱(latent heat of vaporization, MJ/kg)，Δ 是飽和蒸氣壓對氣溫變化反應之斜率(kPa °C<sup>-1</sup>)，γ 是濕度常數 (psychrometric constant, kPa °C<sup>-1</sup>)，R<sub>n</sub> 是淨輻射量(MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)，G 是熱通量密度(heat flux density to the soil, MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)，v 是平均風速 (m/s)，e<sub>s</sub> 是平均氣溫之飽和蒸氣壓 (kPa)，e<sub>d</sub> 為平均露點溫度之飽和蒸氣壓 (kPa)。Δ 可由下式計算：

$$\Delta = 0.20(0.00738T + 0.8072)^7 - 0.000116$$

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda}$$

$$P = 101.3 - 0.01055(EI)$$

$$\lambda = 2.501 - 0.002361T$$

式中：T 是平均氣溫(°C)，P 是估算大氣壓力(estimated atmospheric pressure, kPa)，EI 為高程(m)。淨輻射量可由下式計算：

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - \sigma T_a^4 [0.34 - 0.139(e_d)^{0.5}] \\ (0.1 + 0.9(n/N))$$

式中：R<sub>s</sub> 是地球表面太陽輻射量(MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)，α 是反照率，σ 是 Stefan-Boltzmann 常數(4.903\* 10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> oK<sup>-4</sup>)，T<sub>a</sub> 是空氣之絕對溫度(oK)，n/N 為實際與可能日照時數之比值。n/N 可由下式計算而得：

$$\frac{R_s}{R_{so}} = 0.35 + 0.61 \frac{n}{N}$$

式中：R<sub>so</sub> 是無雲天之平均太陽輻射(mean solar radiation for cloudless skies, MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)，可依測站之緯度查表算得(Jensen et al, 1990)。飽和蒸氣壓可由氣溫計算而得：

$$e_s = 3.38639[(0.00738T + 0.8072)^8 \\ - 0.00019 | 1.8T + 48 | + 0.001316]$$

利用水收支分析可知研究區降雨量分布、氣候類型、氣候副型及剩水、缺水情形，應用於大範圍推估時，可快速獲得水文收支特性，使用在小地區時，亦可明顯看出降雨量分布情形，實為一簡單快速之方法。

### 3. 綠覆率分析

以遙感探測 (Remote Sensing, RS) 方法取得紅外光衛星觀測資料，評估區域綠覆率，本研究探討綠覆率的目的，是為瞭解區內水源涵養能力。採用適合之衛星影像來得常態化差異植生指標(Normalized Difference

Vegetation Index, NDVI)之變化，進而評估

表 1 氣候分類與 I<sub>m</sub> 對照表

Table 1 Type of climate and its I<sub>m</sub> value

氣候類型		I <sub>m</sub>
A	過濕 Perhumid	100 ≤
B4~B1	濕潤 Humid	80~100
		60~80
		40~60
		20~40
C2	潤次濕 Moist Subhumid	0~20
C1	乾次濕 Dry Subhumid	-33.3~0
D	半乾燥 Semiarid	-66.7~-33.3
E	乾燥 Arid	-100~-66.7

表 2、氣候分類副型與 I<sub>d</sub> 對照表

Table 2 Type of sub-climate and its I<sub>d</sub> value

潤濕氣候 (A, B, C2)	
副型符號及定義	I <sub>d</sub> 數值
r 少量或全無缺水	0~10
s 中度的夏季缺水	10~20
w 中度的冬季缺水	10~20
s <sub>2</sub> 大量的夏季缺水	>20
w <sub>2</sub> 大量的冬季缺水	>20
乾燥氣候 (C1, D, E)	
副型符號及定義	I <sub>h</sub> 數值
d 少量或全無剩水	0~16.7
s 中度的夏季剩水	16.7~33.3
w 中度的冬季剩水	16.7~33.3
s <sub>2</sub> 大量的夏季剩水	>33.3

衛星影像前後兩期綠色植生量之變遷。NDVI

值之計算方法如下所示：

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

式中 NIR 為近紅外光；R 為紅光。由於台灣地區之綠覆率值尚無資料庫可資利用，因此利用衛星影像 NDVI 建立綠覆率評估指標 C，綠覆率計算式為：

$$C = [(1 - NDVI) / 2]^{\alpha}$$

式中， $\alpha$  表示 NDVI 與實際綠覆率之關係，為簡化計算，將以  $\alpha = 1$  的簡易條件進行探討，亦即利用線性配置後產生 C 值，NDVI 將轉換成介於 0~1 的植生覆蓋率因子，由衛星影像萃取之 NDVI 轉換出之 C 值之示意如圖 2。

本研究以福爾摩沙衛星 2 號所拍攝之影像進行分析，福衛 2 號影像空間解析度可達 2m，可提供台灣本島地區每日更新的高解析度衛星影像，2m 解析度足夠判釋地表植生變異或綠覆劣化之區位。

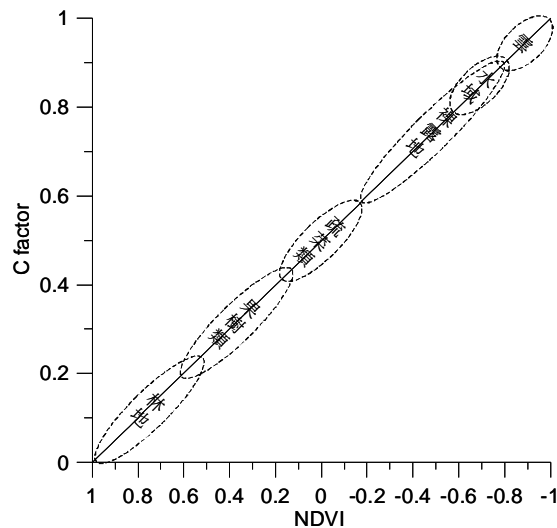


圖 2、不同地覆之 C 值分布範圍

Fig. 2 Distribution of C value in varied land cover.

#### 4. 窪蓄區位萃取

本研究利用高差法(Jenson and Domingue, 1988)、斜面法結合 PROMETHEE 理論計算集水區初始流向，再以源頭追蹤法萃取水系網，計算中下游網格高程大於上游網格者視為窪蓄區位，搭配所萃取之水系網，以區分河道或是坡面之窪地區位（圖 3）。因窪地可能分屬於河道或是坡面上，其目的因窪地所在區位不同而有不同之設施功能；例如：河道窪地將會是攔河堰、防砂壩或是其他河道橫斷設施自然的優良場址，而坡面窪地則可提供有效的窪蓄貯水設施或滯洪沉砂設施的場址。

窪蓄區位提供的蓄容量與窪地上游集水區的集水量，為窪地效率的主要依據，萃取過程中，此二項因子為窪蓄區位優選之重要原則（圖 4）。窪蓄區位集水區之萃取係利用動態萃取集水區概念，以遞迴演算法配合流向資料向上游自動追跡流經該窪蓄區位之所有排水區位(圖 5)。藉由農林航測所之 40 x 40 m DEM 資料萃取油田村窪蓄區位，可得各區位位置、面積、深度、集水區面積及類型等資料。

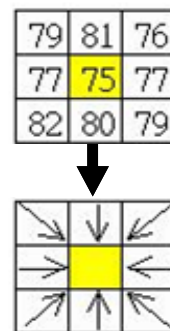


圖 3、窪蓄區位萃取示意圖

Fig. 3 Illustration of topographic depressions extracted.

## 結果與討論

### 1. 水收支分析

利用中央氣象局新竹測站之氣象資料，分析油田村之月平均輻射量、氣溫、相對濕度、降水量、蒸發量、風速等資料，再依據 Thornthwaite 與 Mather (1955) 之氣候分類法分析氣候型，本區屬亞熱帶濕潤氣候，氣候類型屬於「濕潤」，氣候副型則為「少量或無缺水」，整年需水量為 1122.1 mm，降水量為

1799.8 mm，剩水量為 678.1 mm，濕潤指數為 60.6，主要剩水月份為 3~9 月，缺水月份為 12 月，研究範圍水平衡表及氣候類型整理如表 3、表 4 及圖 6。

分析結果可知油田村之水資源豐富，惟村內坡度甚陡，豐沛雨水易形成逕流，在部分區域由於不透水鋪面增加及山坡地淨耕裸露地等原因，加劇逕流集中，入滲減少，水資源無法留蓄，易發生土壤沖蝕。

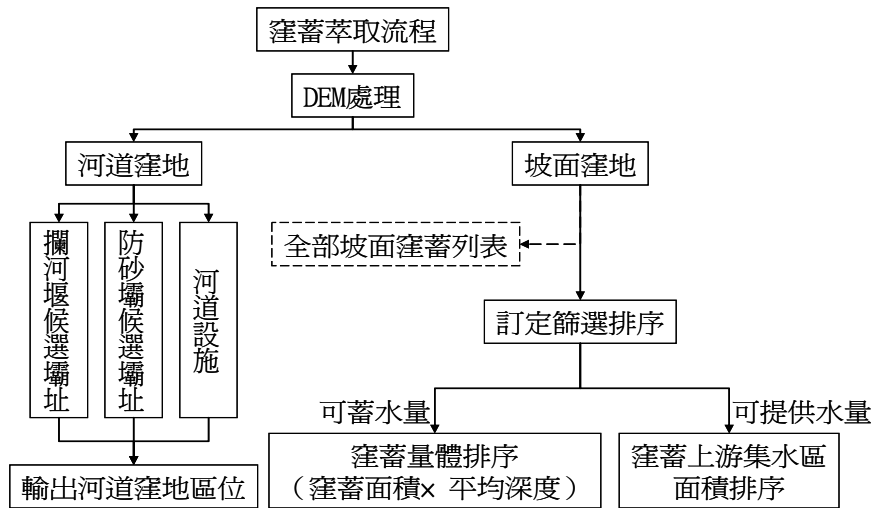


圖 4、窪蓄萃取流程示意圖

Fig. 4 Flowchart of topographic depressions extracted.

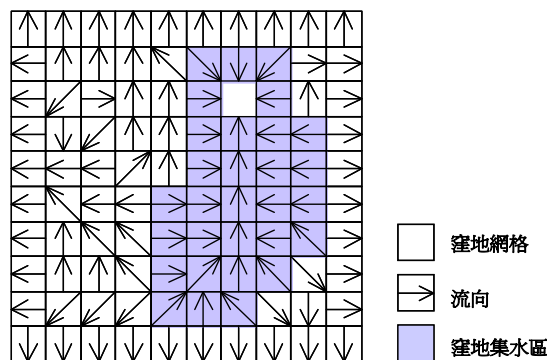


圖 5、窪蓄區位集水區萃取示意圖

Fig. 5 Illustration of watershed extraction for the topographic depression.

林昭遠、張嘉琪、鄭旭涵：集水區窪蓄區位自動萃取之研究

表 3、油田村水平衡表

Table 3 Water balance of Youtian village.

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總計
可能蒸發(mm)	64.1	63.9	75.7	85.7	103.9	112.7	129.1	120.6	107.0	104.3	83.4	71.8	1122.1
降水量(mm)	67.1	145.5	170.6	157.2	252.8	254.7	155.8	176.7	260.3	57.0	37.5	64.6	1799.8
貯水變化(mm)	3.0	81.6	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-47.3	-45.9	-6.8	0.0
土壤貯水(mm)	3.0	84.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	52.7	6.8	0.0	0.0
實際蒸發(mm)	64.1	63.9	75.7	85.7	103.9	112.7	129.1	120.6	107.0	104.3	83.4	71.4	1121.7
缺水量(mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
剩水量(mm)	0.0	0.0	79.5	71.5	148.9	142.0	26.7	56.1	153.3	0.0	0.0	0.0	678.1

表 4、油田村氣候類型

Table 4 Climate type of Youtian village.

需水量 (mm)	降水量 (mm)	剩水量 (mm)	缺水量 (mm)	濕度 指數	乾燥 指數	濕潤 指數	氣候型	類別
1122.1	1799.8	678.1	0.4	61.6	1.0	60.6	B3A'ra'	亞熱帶 濕潤

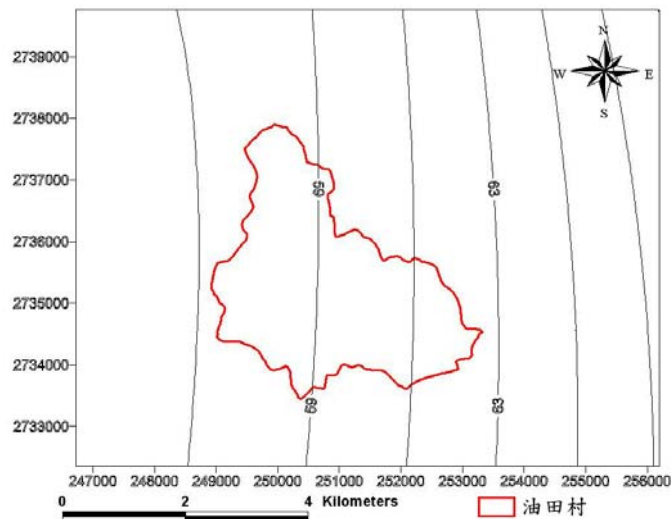


圖 6、濕潤指數分布

Fig. 6 Spatial distribution of moisture index.

## 2. 綠覆率分析

利用三期福衛 2 號衛星影像 (1998/04/24、2004/07/12、2008/06/22) 分析油田村 C 值分布 (圖 7~圖 9), 各期平均 C 值分別為 0.06、0.08、0.12, 顯示油田村之植生覆蓋情形大致良好, 僅有少數區位植生覆蓋較差, 而各期植生覆蓋變化如圖 10、圖 11 所示。可知 1998~2004 年間, 油田村綠覆情形變化不大, 僅有零星地區變差; 2004~2008 年間, 除少數區位綠覆變差外, 主要的綠覆劣化區位為位於左側之華園棄土場, 其餘地區的植生綠覆情形變化不大。

水土保持技術規範以 USLE 推估集水區土壤流失量, 利用衛星影像計算之 C 值亦可直接用於土壤流失量之估算上, 一般以年平均 C 值加以計算, 然而雨季植物生長旺盛, 衛星影像推估之 C 值較小, 也較能反映集水區之實際沖蝕量, 因此, 以雨季 (2008/06/22) 衛星影像分析結果可推估油田村土壤流失分布情形。

由衛星影像植生覆蓋 C 值 (圖 9) 與以

USLE 推估集水區土壤流失量 (圖 12) 知, 植生覆蓋較差區域大多位於油田村左側、下方及右下方, 其土壤沖蝕量亦為最大; 此外, 當植生覆蓋 C 值越小, 其土壤沖蝕量相對也越小。

植生覆蓋 C 值與土壤沖蝕量之迴歸 (圖 13) 顯示, C 值越小其土壤沖蝕量相對越小, 當 C 值逐漸增大時, 土壤沖蝕量亦越大, 雖其漸呈發散趨勢, 有少許 C 值變大但土壤沖蝕量反而變小情形, 係因以 USLE 推估土壤沖蝕量時, 坡度與植生覆蓋指標皆為重要影響因子之一, 在探討植生覆蓋 C 值與土壤沖蝕量關係時未考慮坡度影響, 致部份較平坦區位植生覆蓋 C 值變大, 惟其土壤流失量並無增大之現象。整體而言, 植生覆蓋 C 值與土壤沖蝕量大致呈正相關分布。

## 3. 窪蓄區位萃取

油田村窪蓄區位萃取結果顯示村內有 121 處天然低窪處可供建置農塘參考 (圖 14), 其平均深度約為 2 m, 其中坡面型窪蓄區位佔較多處, 約有 80 處, 河道型窪蓄區位則為 41 處。

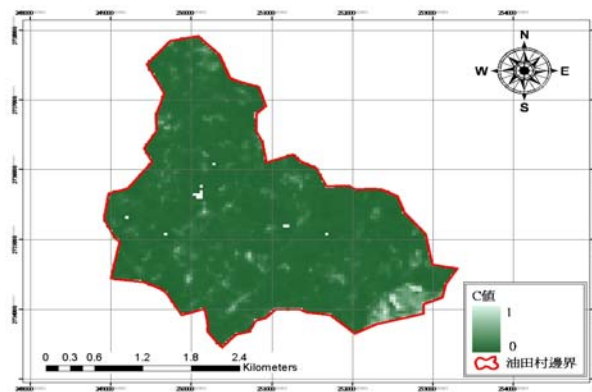


圖 7、油田村植生覆蓋指標 C 值分布 (1998/04/24)

Fig. 7 Spatial distribution of vegetation coverage index (1998/04/24)



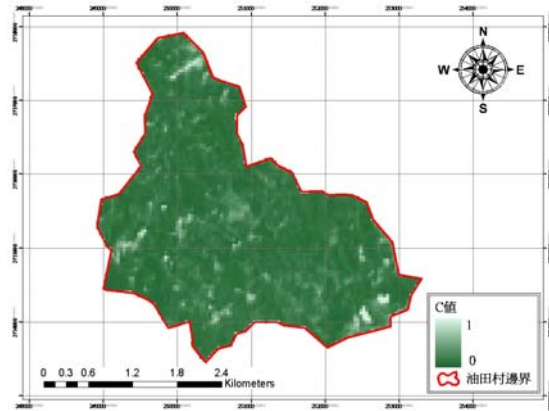


圖 8、油田村植生覆蓋指標 C 值分布 (2004/07/12)

Fig. 8 Spatial distribution of vegetation coverage index (2004/07/12)

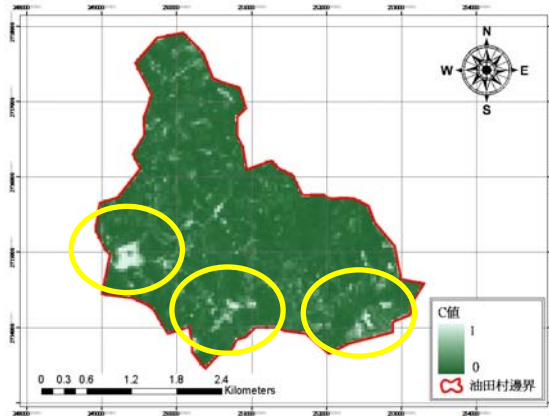


圖 9、油田村植生覆蓋指標 C 值分布 (2008/06/22)

Fig. 9 Spatial distribution of vegetation coverage index (2008/06/22)

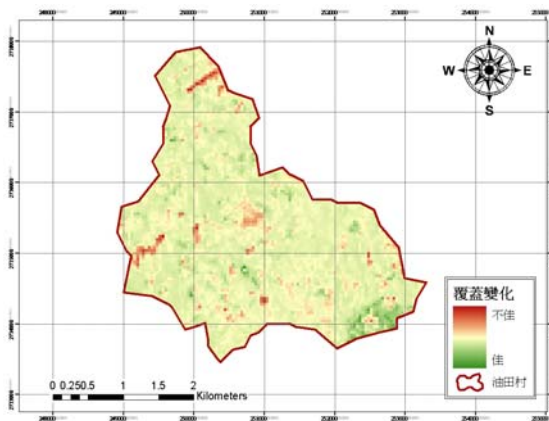


圖 10、油田村植生覆蓋變化 (1998-2004)

Fig. 10 Changes of vegetation cover. (1998-2004)

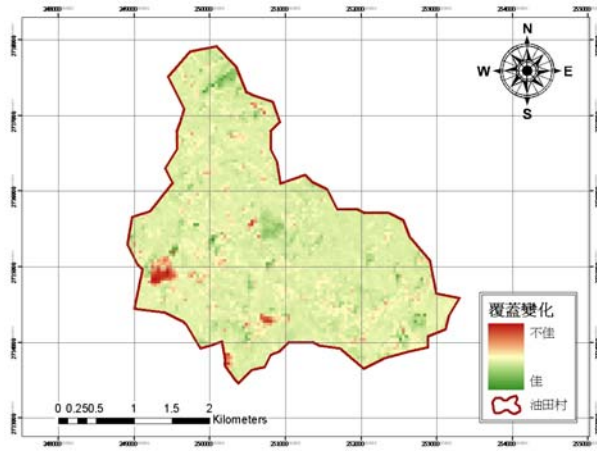


圖 11、油田村植生覆蓋變化 (2004-2008)

Fig. 11 Changes of vegetation cover (2004-2008)

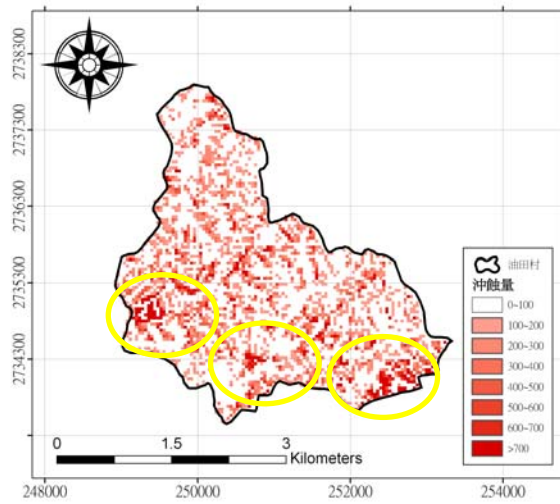


圖 12、油田村沖蝕量分布圖

Fig. 12 Spatial distribution of soil erosion

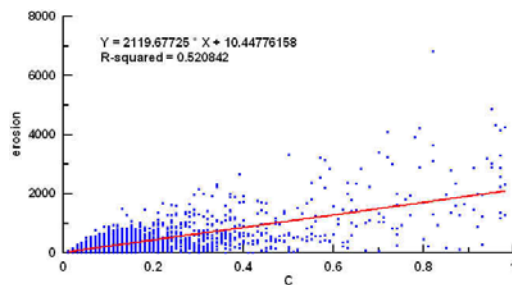


圖 13、C 值與土壤沖蝕量關係圖

Fig. 13 Relationship between soil erosion and the C value

依水收支與綠覆率分析結果，篩選村內天然低窪處為建置農塘之優先順序，油田村水資源豐富，僅於 12 月有少量缺水情形，且綠覆劣化區域零星分布於村內，因此油田村窪蓄區位主要係以沉砂、滯洪及水源涵養為其主要功能。若水源涵養為主要篩選窪蓄區位因子，則窪蓄區位上游集水區越大者越適宜做為窪蓄區位配置地點；以沉砂功能為篩選因子，則優先考慮土壤流失量，依雨季衛星影像分析結果，油田村有少數區域植生覆蓋較差，適宜於覆蓋較差區域建置窪蓄區位以達沉砂作用。

綜上所述，油田村窪蓄區位功效以水源涵養及沉砂為主，然而，若窪蓄區位位於環境敏感區位時易受到土砂災害，將不易維護管理。因此排除環境敏感區域內之窪蓄區位。位於非環境敏感區域之窪蓄區位共有 30 處（圖 15），其窪蓄深度為 1~3 m 間，平均深度約為 1.5 m，若僅以水源涵養為建置目的之窪蓄區位如圖 16 及表 5 所示，詳細規劃數量可依篩選結果客觀選定適宜之窪蓄區位。

### 結論與建議

以氣象資料分析油田村氣候類型及氣候副型、配合三期衛星影像估算油田村綠覆變化、以及利用 DEM 萃取油田村窪蓄區位之空間分布與窪蓄區位集水區之地水文文資訊後，可知油田村綠覆情形大致良好，整年並未有大量缺水情形，僅於 12 月有少量缺水，因此油田村農塘設置可以水源及生態涵養為其主要功能，將農塘底部以不透水材質建造，不僅可儲存水源使其自然形成呆水位，

也讓超過呆水位之水源入滲至土壤中補充地下水，農民除可引用農塘所貯蓄之水源供噴灑農藥、灌溉之用，配合生態調查與景觀設計，不僅能保持生態穩定性，並可進一步營造社區生活及遊憩環境。



圖 14、油田村窪蓄區位分布

Fig. 14 Topographic depressions in Youtian village

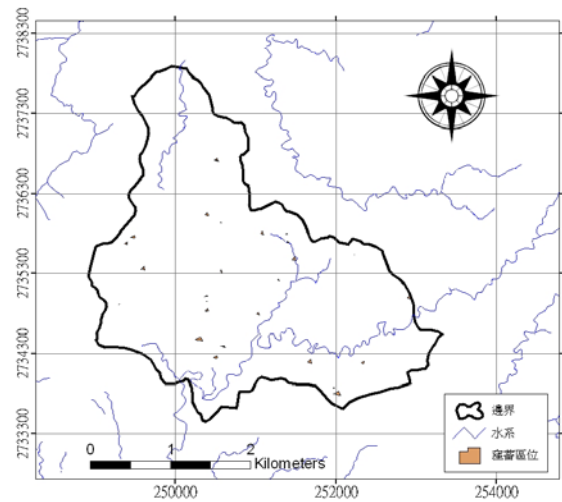


圖 15、非環境敏感區位農地窪蓄分布

Fig. 15 Topographic depressions located at the farmland areas without environmental sensitivity

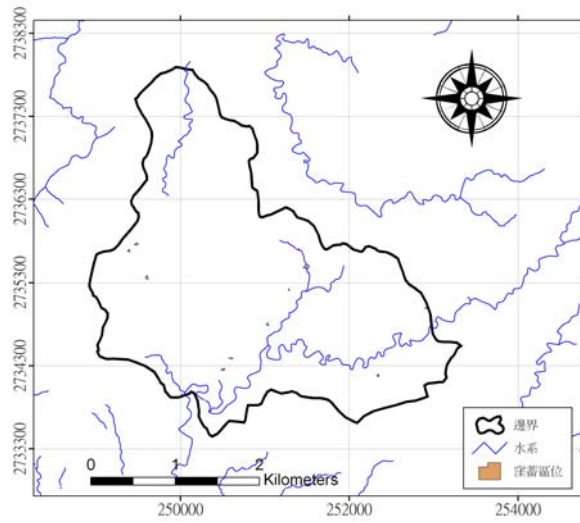


圖 16、具水源涵養功能窪蓄區位分布圖

Fig. 16 Topographic depressions with the functionality of water storage

表 5、窪蓄區位分布表

Table 5 Extracted topographic depressions

窪蓄 編號	X	Y	面積 (m <sup>2</sup> )	深度 (m)	體積 (m <sup>3</sup> )	集水面積 (m <sup>2</sup> )
1	251400	2735680	1,600	1	1,600	364,800
2	251280	2735200	1,600	3	4,800	310,400
3	251480	2735480	1,600	1	1,600	425,600
4	251400	2735680	1,600	1	1,600	364,800
5	252373	2734187	4,800	1	4,800	297,600
6	251040	2734800	1,600	3	4,800	291,200
7	250040	2733960	1,600	1	1,600	712,000
8	250600	2734400	1,600	1	1,600	428,800
9	250500	2734240	3,200	1	3,200	457,600
10	249400	2735680	1,600	1	1,600	340,800

本研究採用綠覆率、水收支分析探討窪蓄區位之功能性，僅能就地形現況自動萃取窪蓄之配置區位，未來可進一步模擬窪蓄區

位之配置效益。

誌謝

本文承行政院農業委員會水土保持局山坡地窪蓄區位水資源監測及保蓄效益評估計畫(SWCB-97-178)之支持，作者在此表達謝意。

### 參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局（2008）山坡地窪蓄區位水資源監測及保蓄效益評估成果報告書，SWCB-97-178。
2. 林文賜（2002）集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究，國立中興大學水土保持學研究所博士論文。
3. 林昭遠、林文賜（2000）集水區地水文因子自動萃取之研究，中華水土保持學報，31(3)：247-256。
4. Burgan, R.E. and R.A. Hartford (1993) Monitoring vegetation greenness with satellite data. USDA Forest Service Intermountain Research Station, General Technical Report. INT-297.
5. Chou, T.Y., W.T. Lin, C.Y. Lin, W.C. Chou and P.H. Huang (2004) Application of the PROMETHEE technique to determine depression outlet location and flow direction in DEM. Journal of Hydrology. 287:49-61.
6. Jenson, S. K. and J. O. Dominique (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 54(11): 1593-1600.
7. Lin, W. T., W.C. Chou, C.Y. and Lin, P.H. Huang and J. S. Tsai, (2008) WinBasin: Using Improved Algorithms and the GIS Technique for Automated Watershed Modeling Analysis from Digital Elevation Models. International Journal of Geographical Information. 22(1): 47-69.
8. Richards, P.L. and A. Brenner, (2004) Delineating Source Areas for Runoff in Depressional Landscapes; Implications for Hydrologic Modeling, Journal of Great Lakes Research.30: 9-21.
9. Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather (1955) The water balance. Publications in climatology, Drexel institute of technology, laboratory of climatology. 8(1) : 1-76.

---

99年03月08日收件

99年03月22日修改

99年03月23日接受

水土保持學報 42(2) : 137-150(2010)

Journal of Soil and Water Conservation,42(2) : 137-150(2010)