

集水區水源涵養區位優選之研究

林昭遠⁽¹⁾ 林忠明⁽²⁾ 林政侑⁽³⁾

摘要

台灣位處東亞季風氣候區，夏季常有颱風或對流雨產生高強度之暴雨，若集水區水源涵養能力差，地表逕流易集中而危及保全對象。為此，集水區能否發揮保水功能便極為重要。本研究為解決朴子溪淹水問題，以義仁橋集水區為樣區，沿其主河道掃描農地之開墾率，可篩選出 A、B、C 等 3 處管理分區，配合 SCS 之 CN 值可知各區水源涵養之良窳情形，最後依據各管理分區之需求提出適宜之水源涵養策略。管理分區 A 主要為林地，因此採用河道型滯蓄區位，由下至上將其營造為連續性滯洪壩；管理分區 B 則因農地區位漸多，改採用坡地型滯蓄區位營造農塘，此方法可其兼具滯洪及灌溉功能；管理分區 C 則因土壤入滲情形較佳，地表逕流多入滲為地下水，可於河道濱水區構築農塘，藉由農塘上游引水再於下游排放河道，攔蓄河道部分水資源，營造濱水區多功能之蓄水設施，暴雨時能有效減低下游洪峰流量。本研究所提之相關策略期能供管理單位作為因應氣候變遷淹水潛勢區位之參考。

(**關鍵詞**：SCS 曲線值、水源涵養、滯蓄)

A study of screening the suitable sites for water storage in a watershed

Chao-Yuan Lin⁽¹⁾ *Jung-Ming Lin*⁽²⁾ *Cheng-Yu Lin*⁽³⁾

Professor⁽¹⁾ Graduate Student⁽²⁾ Ph.D. Student⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

Taiwan is located at the Eastern Asia Monsoon climate zone. Typhoons and/or convectional rains occur frequently and result in high intensity storms in the summer season. Once the detention facilities are shortage or soil infiltration rate become worse in a watershed due to land use, surface runoff is easily to concentrate and threaten the protected areas. Therefore, it is very important to

(1)國立中興大學水土保持學系教授(通訊作者 e-mail：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

examine the functionality of water storage for a watershed. The purpose of this study is to solve the issue of flooding in the Puzi Creek. A case study of Yizen Bridge Watershed, in which the SCS curve number was used as an index to extract the spatial distribution of the strength of water storage, and the value of watershed mean CN along the main channel was calculated using area-weighting method. Therefore, the hotspot management sites were then derived and the priority method was applied to screen the depression sites for the reference of management authorities in detention ponds placement. The results show that the areas of subzone A with the characteristics of bad condition in topography and soil, which results in poor infiltration. However, the areas are mostly covered with forest and are difficult to create the artificial water storage facilities. Detention dams are strongly recommended at the site of depression in the river channel. The areas of subzone B are mainly located at the agriculture slope land. The topographic depressions in the farmland are the suitable places to construct the farm ponds for the use of flood detention in the rainy seasons and irrigation in the dry seasons. Areas of subzone C are mainly occupied the gentle slope land with a better ability in water storage due to low CN value. Farm ponds constructed in the riparian to bypass the nearby river channel can create multifunctional wetland to effectively decrease the peak discharge in the downstream during storm events.

(**Keywords** : SCS curve number, Water storage, Depression storage.)

前言

台灣地形陡峭、河短流急，且屬海島型氣候，颱風暴雨事件頻繁，降雨之空間與時間分布不均。現全球面臨氣候變遷，極端之氣候事件屢見不鮮，更加劇侵襲台灣之颱風暴雨事件的規模與頻率，造成颱風災害日益嚴重，國人之生命財產安全亦受到極大的威脅；且隨著社會經濟發展而增加的集水區開發利用程度，無疑是再次削減了台灣對於颱風災害的耐受力，氣候變遷可能導致短期氣候變異加劇與極端氣候頻率增加，造成降雨與氣溫發生變化進而影響河川流量以及地下水補注量(譚仲哲，2008)。2009年8月6日至8月10日侵襲台灣之莫拉克颱風，便是最慘痛的實例。該颱風造成中南部及東南部多處崩塌及水災，其挾帶之雨量僅次於1959年之八七水災，長延時及高強度降雨造成牛稠

溪潰堤，導致嘉義縣民雄鄉金興村水淹近2層樓(聯合報，2009)。

為因應氣候變遷所造成之各類極端氣候事件，以及各類集水區開發利用所造成之逕流增加現象，如何優選集水區水源涵養區位，營造窪蓄與截蓄保水設施乃調適策略之第一要務。以農塘或窪蓄地區貯蓄水源，能供農業灌溉用水，增加土地利用價值(林昭遠，2010)，且為進一步達成水資源的管理，可從水的路徑和總量兩項主要元素著手，倘若能配合「貯留」(storage)和「入滲」(infiltration)的機制，將可大大降低旱澇之發生(王价巨，2011)。

本研究以美國土壤保育中心(The U.S. Soil Conservation Service, SCS)之曲線值(Curve Number)用來推估小型集水區之逕流量，Patil et al.(2008)認為此法常用於無資料流

域推估地表逕流方法之一。藉由集水區 SCS 曲線值之空間分布及窪蓄區位的萃取，可篩選集水區水源涵養適當區位，提供集水區水資源管理之用。

在氣候變遷下土地利用型態改變增大逕流量，洪災發生機率也相對提升(營建署，2008)。自農業試驗所取得之 2005 年土壤類別與國土測繪中心 2008 年土地利用情形，進行對照後給定 SCS 曲線值，再以面積加權方式掃描主流河道，以挑選主河道各點位集水區之重點管理分區，由管理分區的平均 CN 值，作為優選水源涵養區位之參考；

材料與方法

1. 研究樣區

朴子溪主流全長 75.87 公里，流域 426.6 km²，其上游義仁橋集水區，呈東北往西南走向，集水區面積為 97.87 km²，其發源地於嘉義縣境內阿里山脈海拔 1421 公尺的芋菜坑，之後在內科底、崎腳匯流後緩緩向西流出，經民雄鄉牛稠山之後，才稱為朴子溪。其地理位置北臨北港河流域，行政區包含嘉義縣竹崎鄉仁壽村、白杞村、金獅村、峰文村、塘興村(圖 2)。

研究流程

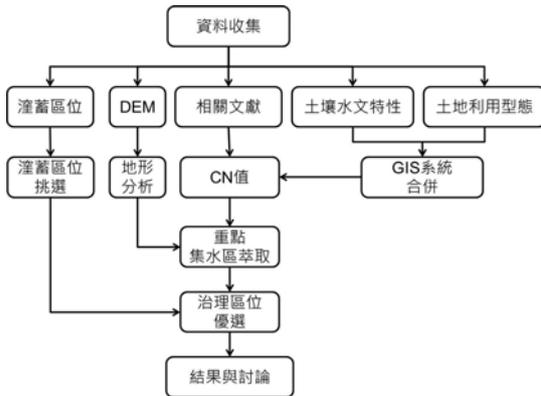


圖 1 研究流程

Figure 1 Flowchart of this study

本研究選擇朴子溪流域以義仁橋集水區作為研究樣區。利用土壤與土地利用圖資套疊分析後，得到集水區內 CN 值之空間分布，篩選重點管理區位，利用 DEM 等資料找出窪蓄區位，並依各窪蓄區位量體與特性來進行分數評比，做為集水區水源涵養位置之優選(圖 1)。

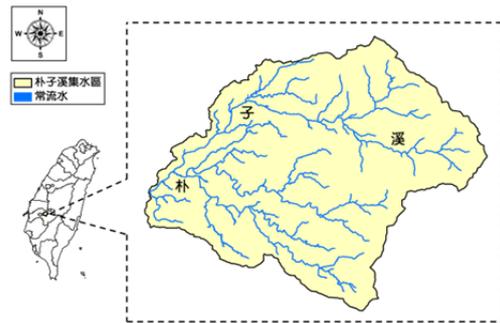


圖 2 研究試區

Figure 2 Location of study site

2. 氣候與地形

年平均溫度 21~24°C，年平均降雨量為 1,598 毫米，年平均降雨日數為 112 日，降雨於五月至九月間，10 月至翌年 4 月為旱季，7 月至 9 月為颱風期，暴雨時間短且強度大，降雨量集中。東部多高山屬中央山脈，向西則為海拔 100-500 公尺的丘陵地區，西部屬嘉南海岸平原。5 月至 9 月為豐水期，枯水期十月至四月，豐枯期流量相差極大(經濟部，2013)。

本區之地層有屬第四紀現代沖積層、臺地堆積層及屬更新世者之紅土礫石層、分佈於河流之河床及兩岸，其組成以礫石、砂及泥土為主，故內部膠結疏鬆。朴子溪溪流短促，上游多泥沙岩層，沖積層中缺少疏鬆沉積物，致使其含水層較薄且岩層較小，故地下水資源不豐，年地下水補注量僅約為 2.08 億噸左右。

4. 研究材料

利用美國土壤保育中心 (Soil Conservation Service, 簡稱 SCS) 所提供之方法來繪製 CN 值空間分布圖，須有土地利用與土壤質地資料。而農業試驗所提供的資料有土壤質地、土型、土壤深度、土相、土類等，其中 SCS 的 CN 值轉換則需要需用到土壤質地。國土測繪中心的土地利用資料為土地利用分類，總共有九大類：農業使用、森林使用、交通使用、水利使用、建築使用、公共使用、遊憩使用、礦鹽使用以及其他使用等九種，利用九大類的子項目共 103 類來轉換 SCS 的 CN 值。

表 1 研究材料相關資訊

Table 1 Related information of the study materials

資料名稱	時間	空間解析度	來源	用途
DEM	2003	20m × 20m	內政部	地文水文分析
土壤類別	2005	1/5000	農業試驗所	CN 值及水源涵養區位分析參考
土地利用	2008	1/5000	國土測繪中心	CN 值及水源涵養區位分析參考

本研究分析水系、地形、水源涵養區位萃取及集水區劃分主要利用內政部林務局農林航測所所製作之 20x20 公尺之數值高程模型。

5. 研究方法

上游集水區水源涵養效益佳，可減少地表逕流、與土砂產生，減免下游之洪峰流量，降低淹水潛勢。而水源涵養效益與土地利用資料與土壤質地相關，本研究以 SCS 方法作為集水區水源涵養區位優選標準之一，而優選最佳營造區位方式則為利用面積加權，最後依營造需求提供營造方式與建議。

(1) SCS 方法 - 曲線值 (Curve Number method, CN method)

SCS 方法為美國土壤保育中心 (Soil Conservation Service, 簡稱 SCS) 所首創，美國土壤保育中心為目前美國自然資源保育中心 (National Resources Conservation Service, 簡稱 NRCS) 的前身。通常此法用於推估小集水區之逕流量。

美國土壤保育中心將集水區最大蓄水量 S_值，轉換為曲線值 CN 之關係經驗式如下：

$$S_{(inc/l)} = \frac{1000}{CN} - 10 \dots \dots \text{英制}$$

$$\text{或 } S_{(mm)} = \frac{25400}{CN} - 254 \dots \dots \text{公制}$$

式中 CN 值稱為曲線值 (curve number)，為土壤類別、水文臨前狀況、土壤利用狀況與水土保持工程措施等因素所影響。

由以上經驗公式，雖可求出概估 CN 值

大小，但經相關研究曾指出，採用土壤類別及土地利用轉換實際 CN 值的空間分布結果，會大於由降雨量資料計算之 CN 值(謝平城、褚思穎，2008)。就工程規劃設計考量時仍應提高安全係數，而使用地文資料轉換的實際 CN 值較大，以此作為規劃設計實為恰當。所以本研究以採取土壤種類及土地利用條件來決定 CN 值的大小。

由於台灣土壤質地分類編號為 0 至 9 類(表 2)，而美國農業部(United States Department of Agriculture, USDA)自然資源保育中心(National Resources Conservation Service, NRCS)，利用 SCS 法將土壤分類為四類。由於兩種分類型式不同，為能夠將 CN 值資料整合，利用水土保持局土壤質地分類表與本研究樣區土壤質地與性質，轉換對應至美國 SCS 的土壤分類系統中 A、B、C、D 四類如(表 3)。其中 A 類型表示滲水性良好之土壤，不易產生直接逕流；而 D 類型表示滲水性最低的土壤，即該位置最容易因滲水性不佳產生直接逕流。

以美國 SCS 的土壤分類 A、B、C、D 四類直接與土地使用類別合併套疊，配合表 4 俾可得集水區 CN 值之空間分布(表 2 及表 3)，SCS 法依據土地利用狀況(表 4)、水土保持工程措施、坡地排水狀況以及土壤類別等性質，製成曲線 CN 值之表格。

表 2 水土保持局土壤質地分類

Table 2 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	坩質壤土、坩土
5	壤土
6	砂質黏壤土
7	黏質壤土、坩質黏壤土
8	坩質黏土、砂質黏土
9	黏土

資料來源:農委會水土保持局

表 3 水土保持局土壤分類對應之 SCS 土壤分類

Table 3 Summary of soil classification vs. SCS soil classification recommended by the soil and Water Conservation Bureau

水土保持局土壤質地分類	SCS 土壤分類
0、1、2、3	A
4、5	B
6	C
7、8、9	D

資料來源:農委會水土保持局

表 4 SCS 法之曲線值

Table 4 SCS Curve Number for each category

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: 美國農業部(United States Department of Agriculture, USDA)自然資源保育中心(National Resources Conservation Service, NRCS)

(2) 重點管理分區篩選

CN 值可由土壤類別及土地利用換算得之，經主流河道點位進行集水區掃描，河道上每個點位皆可以求得經面積加權的 CN 值，CN 值加權計算方式如下，

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

CN：SCS 法之曲線值(表 4)

A：河道各點位集水區面積

i：河道上第 n 點

農地開墾率計算方式為河道沿線集水區掃描，以農業使用面積除以河道上沿線各集水區面積，乘以百分比後即為農業開墾率。

$$\frac{A_{Agriculture}}{A_{Watershed}} \times 100\% = \text{開墾率}(\%)$$

A_{Agriculture}：主河道沿線各集水區面積內所包含之農業使用地面積。

A_{Watershed}：主河道沿線各集水區面積。

以河道沿線各點之加權 CN 值與農業開墾率，於河道空間上之變化做為重點管理分區之篩選標準。

(3) 窪蓄區位萃取

窪蓄定義為短期積水稱為澇；長期積水時水位淺為沼澤，水位深者為湖泊。依類型可分為自然與人工窪蓄區位。人工窪蓄如：水庫、埤、池等滯洪設施；自然窪蓄則為坡面上天然低窪地區或河道深潭處。因此利用 Jensen and Domingue(1988)提出的高差法結合斜面法，搭配 DEM 資料計算網格高程差，得到窪蓄區位的大小、深度、坡面型與河道型等分類。

(4) 窪蓄區位優選

天然窪蓄區位依其所在位置可分為河道型及坡地型等兩種，若窪蓄區位位於河道上則歸為河道型窪蓄區位，由於此類窪蓄區位多營造為滯洪壩，因此應以集水面積為篩選因子，若集水面積越大，其可攔截之流量越大，藉此可有效延緩洪峰之發生；而位於河

道以外之窪蓄區位者則歸為坡面型河道窪蓄區位，由於此種區位多營造為農塘，因此除須考慮集水面積外，滯洪體積之大小亦攸關其所能蓄積之量體，最後將兩因子之配分由大至小，其值越大，經相加後所得總分越小者優先營造(圖 3)。

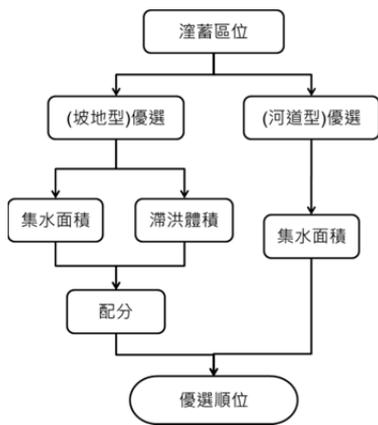


圖 3 窪蓄區位萃取及優選流程

Figure 3 Flowchart of depression extraction and priority screening

結果與討論

1. 集水區 CN 值之空間分布

經 SCS 法計算之 CN 值，含有土壤質地類型及土地利用型態兩大特性，其結果如圖 4，可知義仁橋集水區上游土壤入滲能力低，下游入滲能力高，配合土地利用得知上游多為天然林，下游則以農地為主。

2. 管理分區之篩選

藉由沿主河道掃描集水區之開墾率，可將集水區分為 A、B、C 等 3 處管理分區(圖 5)，管理分區 A；林地為主要土地利用類型，開墾率較低，其 CN 值較高。管理分區 A 因

土壤條件差，坡度較陡，入滲不易，易產生地表逕流。由於 CN 值高加上坡陡之林地區位，在無灌溉需求及邊坡水源涵養不易之考量下，僅能在河道邊選窪蓄區位，構築連續性滯洪設施。藉此減緩下游洪峰發生之時間(圖 6)。

管理分區 B 因農地區位逐漸增加，其 CN 值則逐漸下降，表示土壤入滲條件較佳，地表逕流有減少之趨勢，惟部分區位之坡度仍陡峭，可於平坦農地區位萃取天然窪地營造農塘，除供灌溉使用外，亦兼具防災保育之功能，雖一處農塘可續容量不高，但若每戶農家皆營造農塘，達到家家有農塘之地步，其所累積之容量則不可小覷。

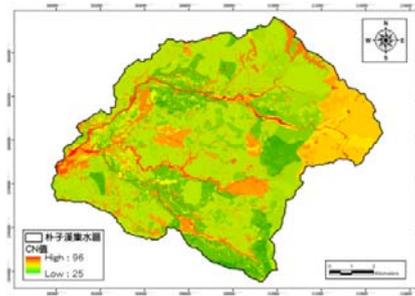


圖 4 樣區 CN 值分布情形

Figure 4 Spatial distribution of CN value

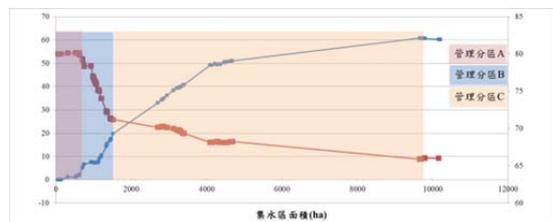


圖 5 集水區沿主河道 CN 值之變化

Figure 5 Variations of CN value along the main channel

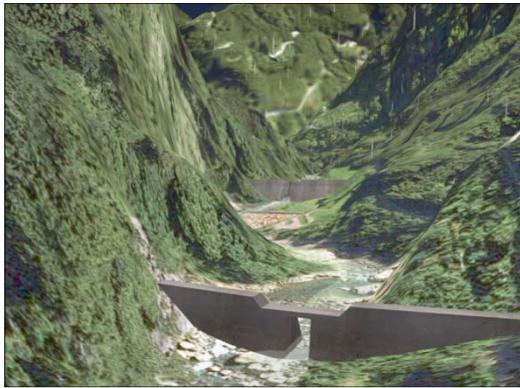


圖 6 連續性滯洪壩

Figure 6 Continuous detention dam



圖 7 農塘營造示意圖

Figure 7 Diagram of farm pond created

管理分區 C 之開墾率逐漸上升至最高值，顯示下游區位之土地利用以農地為主。因地勢較平坦且集水區之 CN 值較小，致地表逕流水易入滲成為地下水，若於此區營造農塘，在同樣集水面積下；其所蓄積之地表水量並不如管理分區 B。建議可於濱水區易發生洪患之處，透過河道分洪之概念，營造濱水區濕地，引鄰近濕地上游河道水源，進入濕地再由低處排入河道，攔蓄河道部分水資源，營造濱水區多功能之蓄水設施，暴雨時能有效減低下游洪峰流量。

3. 窪蓄區位之優選

除管理分區 C 無須營造窪蓄區位外，其餘兩處管理分區將依據上述所建議之窪蓄區位種類進行優選：

(1) 管理分區 A

管理分區 A 多為林地區位，考量施做之方便，河道型窪蓄區位應由下而上加以營造，故以集水面積大者優先考量，如圖 6 共萃取出 5 處河道型窪蓄區位，依集水面積篩選可知配置順序 (表 5)。

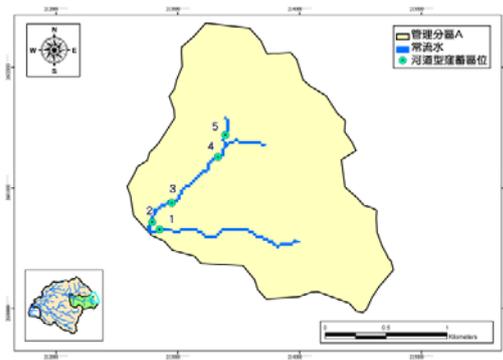


圖 6 管理分區 A 河道型窪蓄區位之空間分布

Figure 6 Spatial distribution for the depression at the river channel in subzone A

表 5 管理分區 A 之窪蓄區位優選順位

Table 5 Rank of priority for the depression in the subzone A

區位編號	集水面積(ha)	排序
1	136.24	3
2	176.04	1
3	161.68	2
4	130.28	4
5	66.24	5

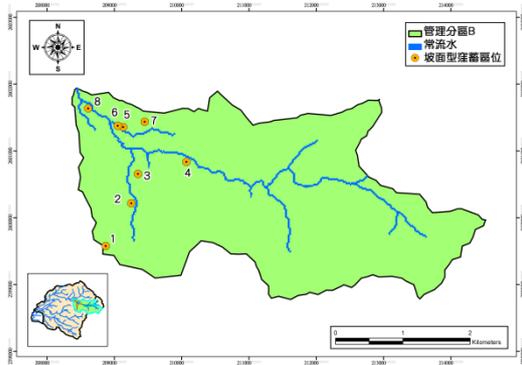


圖 7 管理分區 B 坡面型窪蓄區位之空間分布

Figure 7 Spatial distribution for the depression at the slopland in subzone B

表 6 管理分區 B 之窪蓄區位優選順位

Table 6 Rank of priority for the depression in the subzone B

區位 編號	滯洪		集水		總分	優選 順位
	體積 (m ³)	配分	面積 (ha)	配分		
1	800	1	2.08	3	4	2
2	400	2	0.32	8	10	6
3	400	2	1.96	5	7	3
4	400	2	38.56	2	4	2
5	400	2	1.76	6	8	4
6	400	2	77.84	1	3	1
7	400	2	2.76	4	7	3
8	400	2	0.64	7	9	5

(2) 管理分區 B

管理分區 B 以營造坡面型窪蓄區位為主。結果顯示，此區坡面型窪蓄區位共 8 處，將各處之集水面積與滯洪體積給予配分後相加，所得之總分如表 6，結果顯示，編號 6 因集水

面積最大而優先選擇，其次為編號 1 及 4，當中編號 1 之區位雖集水面積不大，但因滯洪體積較大，因此亦優先考量。

結論

本研究沿主河道掃描集水區之開墾率劃分 3 處管理分區，配合集水區之 CN 值，提出 3 種滯洪及水源涵養策略，管理分區 A 以河道型窪蓄區位為主；管理分區 B 因農地增加，以坡面型窪蓄趨為營造農塘為主，使其兼具滯洪、沉砂及灌溉之功能；管理分區 C 因土壤入滲佳，建議於河道濱水之洪泛區構築濕地，藉由濕地上游引水再於下游排放河道，攔蓄河道部分水資源，營造濱水區多功能之蓄水設施，暴雨時能有效減低下游洪峰流量，增加河道行水斷面。期所提出之相關策略可供管理單位參考之用。

謝誌

本文承行政院農業委員會水土保持局「因應氣候變遷重點集水區保育策略之研究(2/2)」(案號：1020129011B)計畫經費補助。

參考文獻

1. 王婕妤 (2012)，「臺灣地區區域降雨總量及極端降雨與乾旱之變遷特性」。中央大學土木工程學系學位論文。
2. 水保局 (2008)，「上游坡地水土保持執行計畫書」。
3. 謝平城、褚思穎 (2008)，「後龍溪流域逕流係數與逕流曲線值之研究」。中華

- 水土保持學報。40 (2)：205 – 221。
4. 行政院 (2010),「國土營建署(2008)空間發展策略計畫」。
 5. 賴威任 (2010),「水庫保護帶配置對農業非點源污染減量之研究」。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
 6. 盧惠生 (1994),「應用二十四小時頻率雨量推估集水區暴雨逕流歷線」。林業試驗所研究報告季刊。9(4): 363 – 374。
 7. 許桓碩、林家榮、鄭旭涵、林昭遠 (2007),「農業非點源污染模式(AnnAGNPS)推估集水區逕流量之適用性探討」。水土保持學報。39(3)：269 –286。
 8. 盧惠生 (1994) 應用二十四小時頻率雨量推估集水區暴雨逕流歷線。林業試驗所研究報告季刊。9(4)：363-374。
 9. 林昭遠、張嘉琪、鄭旭涵 (2010) 集水區窪蓄區位自動萃取之研究。中華水土保持學報。42(2)：137-150。
 10. 陳柏廷 (2011),「台灣南部永續水資源之研究」。淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文。
 11. 林祐德 (2007),「連續滯洪池滯洪效應之研究」。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
 12. 譚仲哲、童慶斌 (2008),「氣候變遷對台北地下水補注之衝擊」。農業工程學報。54(1)：1-15。
 13. J.P. Patil, A. Sarangi, A.K. Singh, T. Ahmad (2008)Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. Biosystems Engineering 100 (2008) 137 – 146
 14. Jenson, S. K.and Domingue, J. O.(1988)Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,54(11)1593-1600.
 15. Xiaoyong Zhan, Min-Lang Huang (2004) ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environmental Modelling & Software, 19 (10), 875-879
 16. Assefa M. Melesse, S.F. Shih (2002) Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. Computers and Electronics in Agriculture 37 (2002) 173-183.
 17. J.P. Patil, A. Sarangi, A.K. Singh, T. Ahmad (2008) Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. Biosystems Engineering 100,(1), 137-146.
 18. 相關網站
 19. 曹馥年 (2009),「牛稠溪堤防補強 民雄鄉代勘察」。聯合報。11月11日,雲嘉。
 20. 林欽榮 (2008),「廣設濕地滯洪池涵養水源兼散熱」專題報導。內政部營建署網站。
http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=784&Itemid=76#
 21. 王价巨 (2011),「與水共存的新思維打造都市新風貌」。台灣環境資訊協會-環

- 境 資 訊 中 心 。
<http://e-info.org.tw/node/72347>
22. 丁澈士 (2012),「防陷之道,落實管理
談地下水保育管理、永續利用原則與防
治地層下陷」經濟部水利署地層下陷防
治 資 訊 報 導 。
<http://www2.water.tku.edu.tw/Sub91/inquiry/101/101-10.pdf>
23. 經濟部水利署台灣河川復育網(2013),
「 朴 子 溪 流 域 概 況 」。
<http://trrn.wra.gov.tw/trrn/understandingRiver/view.do?id=12bf0f400660000028bd>
-

102 年 06 月 13 日收稿

102 年 06 月 27 日修改

102 年 06 月 28 日接受

水土保持學報 46 (2): 975 – 986 (2014)

Journal of Soil and Water Conservation, 46 (2): 975 – 986 (2014)