

應用地理資訊系統與多變值統計分析於水源 涵養保安林之規劃—以台大實驗林為例

賴晃宇^{1,3)} 鄭祈全²⁾

摘要

在森林經營上，林地分類為森林經營作業的基礎。本研究以McHarg生態規劃方法為基礎，台大實驗林為試區，以規劃水源涵養保安林之林地分類為例，採用數值地形模型萃取谷系與集水區，以做為分類單元之用；同時並應用台大森林地理資訊系統資料庫中之12種變數，包括高程、坡度梯度、地形位置、坡向多樣化指標、地形多樣化指標、剖面曲率、平面曲率、曲率、蝕溝指數、潤濕指標、坡長-坡度指數、水份梯度等，做為應用多變值統計分析於水源涵養保安林規劃時所須之影響變數來源。

統計分析上為了改進McHarg生態規劃方法的缺點，主要是採用多變值統計分析中的因素分析與群落分析二種方法，分別直接將12種變數與經由多變值統計分析之逐步判別分析所選取之8種變數，應用於水源涵養保安林之規劃。

經由比較二種不同變數的規劃結果，並將其與目前台大實驗林的經營現況和前人研究結果比較可知，在進行因素分析之前，先收集相關可能的影響變數，再經由逐判別分析來選擇影響變數，有助於規劃結果準確性的提昇。

關鍵詞：林地分類、數值地形模型、因素分析、群落分析、逐步判別分析。

賴晃宇、鄭祈全。1997。應用地理資訊系統與多變值統計分析於水源涵養保安林之規劃—以台大實驗林為例。台灣林業科學 12(4): 421-441。

Applications of GIS and Multivariate Statistical Analysis in Planning a Water Conservation Protected Forest -- An Example of the Experimental Forest of National Taiwan University

Hun-Yeu Lai^{1,3)} and Chi-Chuan Cheng²⁾

[Summary]

Forest land classification plays an important role in forest management. This study utilized the Experimental Forest of National Taiwan University (NTU) to illustrate planning a water conservation

-
- 1) 台灣大學森林學研究所，台北市羅斯福路四段1號 Forestry Institute, National Taiwan University. 1 Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei, Taiwan, ROC.
 - 2) 台灣省林業試驗所副所長室，台北市南海路53號 Deputy Director, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.
 - 3) 通訊作者 Corresponding author
1997年5月送審 1997年6月通過 Received May 1997, Accepted June 1997.

protected forest based on the McHarg ecological planning approach. The procedure is summarized as follows: 1. Watershed generated by Digital Terrain Model(DTM) automatic extraction was used as a classification unit. 2. Twelve dependent variables for planning the water conservation protected forests from the GIS database are elevation, slope gradient, terrain position, aspect diversity, terrain position diversity index, profile curvature, plan curvature, curvature, gully index, wetness index, length-slope index, and moisture gradient. 3. Factor analysis and cluster analysis of multivariate statistical analysis were used to improve the McHarg ecological planning approaches with which the above 12 variables and 8 variables selected by stepwise discriminate analysis were applied in planning the water conservation protected forest.

Compared with the management circumstances of the NTU Experimental Forest and previous work, the results indicate that planning accuracy can be improved if the derived variables are selected by stepwise discriminate analysis before using factor analysis.

Key words: forest land classification, digital terrain model, factor analysis, cluster analysis, stepwise discriminate analysis.

Lai, H. Y., and C. C. Cheng. 1997. Applications of GIS and multivariate statistical analysis in planning a water conservation protected forest --an example of the Experimental Forest of National Taiwan University. *Taiwan J. For. Sci.* 12(4): 421-441.

緒言

林地分類為土地分類的一種，其目的是為了解土地之潛力(opportunity)與限制(constraint)，在不超出容受力(carrying capacity)原則下，進行土地規劃管理。一般的土地規劃管理，多稱為土地適宜性分析或土地潛力分析。土地潛力分析其目標在於‘潛力’，係針對人為使用上所受限制(limitation)，而將土地作不同等級分類；而土地適宜性分析，則著重機會面(opportunity)之考量，即針對某一界定之土地使用別，分析土地資源對該種使用之適宜性，且其探討內容也較深入。這種方法在林地上的應用即為林地分類。因此林地分類不論是在多目標經營或現今所提倡的生態系經營上，林地分類應該是廣義的生育地分級，就生育地在水資源涵養、野生動物經營、遊樂衝擊以及木材生產上的適合性，加以分析評估。由於林地屬於土地的一種，依Hirsch等(1978)指出可依涵蓋的內容與使用目的上的差異，將土地分類區分為初級分類系統(primary system)與次級分類系統(secondary-order classification)。初級分類系統，係單就生物圈內某一組成分，如土壤、植被、氣候等單一因子所建立之分類系統，類似

地理或生態資料庫形式，如地位指數法、土壤性質分類法等；此種分類系統的缺點為常因只考慮單一因子而影響分類準確性或強調土地限制面而忽略土地潛力。次級分類系統，又稱為生態土地分類系統(ecological land classification)(Rowe and Sheard, 1981)，或稱多因子分類系統(multifactor classification)，因為此種分類系統是利用相關之環境因子，將生育地予以分類；如George A. Hills 之土地分類系統、Philips H. Lewis 之環境資源分析、Ian L. McHarg 之生態規劃方法等。其中McHarg 之生態規劃方法因著重在對自然作用的瞭解，以及其與預期土地使用類別之相互影響，讓自然環境決定土地使用之空間分佈型態，而由於自然環境具地理空間差異分佈的特性，故其依資源之稀有性、獨特性、和敏感性將一地區劃分為不同生態分區，一般所提到的適宜性分析與疊圖一辭通常即指McHarg之分析方法。本法因分析所需自然因素資料，可得自現有地圖或數值資料庫，因此比其他分類系統，更常應用於規劃作業。但McHarg生態規劃方法中的疊圖作業方式，常因規劃者未能考慮到變數之間的相依性，而有誤用的情形發生，同時McHarg的方法，與其他的

多因子分類系統一樣，皆具有一個共同缺點，即如何選定影響變數來做分析的難題，亦即規劃者如何界定那些變數是與規劃目標最有相關，從而以最少的調查時間與經費，完成規劃目標。

臺灣早期的森林經營，係以木材生產為導向，因此當時的林地分類以地位指數(site index)分類方法，亦即透過調查優勢木和次優勢木樹高來評定林地生產力潛力。或者透過林地種類(forest land classes)將林地劃分為木材生產林地或非木材生產林地等。直到1970年代引入美國所提出之森林多目標經營觀念，此時的林地分類，則藉由線性規劃(linear programming)或目標規劃(goal programming)等計量決策工具之輔助，以解決多目標經營下林地分類的問題。但這類方法，如缺乏整合的資訊，則目標規劃法中，如何將現實問題轉為目標函數式和限制式(楊榮啓、林文亮，1991)必成問題，以致多目標利用計劃遭到困難。在1994年以前，臺灣的林地分類主要係以1972年臺灣省林務局所作"臺灣之森林資源及土地利用調查"之森林用地分級作為分類依據，但分類方法過於繁蕪、分類制度及統一標準尚未建立，分類資訊缺乏連貫性與彈性化，以及實際林地的分類資料短缺不全，皆為該分類方法之缺點。Nelson等(1978)指出一個良好的分類系統應具備之要件如下：

- 一、分類單元必須以生態為基礎。
- 二、分類單元可經由遙測予以辨識其主要特徵。
- 三、對於資料的收集，必須詳加規劃，使所收集之資料能充份應用。
- 四、資料收集的方向必須考慮到社經層面。
- 五、所收集的資料必須儲存於資料庫中，使得資料不僅可由區域經營者儲存使用，同時也可整合供不同分類階層使用。
- 六、資料庫本身也必須可以轉換為不同的格式，以因應規劃研究、經營管理之所需。
- 七、資料可隨時更新到資料庫中。

從Nelson等所提的分類系統應具備的條件來看，其著重於分類系統中對於資料的收集與

處理，因為對於分類系統來說，其分類基礎就是要有資料來源，而同時分類的結果也必須回饋資料庫，以供不同用途使用。對於這些應具備的條件來說不論是在資料的儲存、整合、展示、轉換上，目前只有地理資訊系統才能提供這些功能，同時最重要的一點是，地理資訊系統提供了經由自動化快速準確的手續，來處理分類的過程，取代過去以人工處理之分類手續。

台大實驗林水源涵養保安林之經營與規劃現況，根據台大實驗林經營計劃(1989)指出，台大實驗林第32-43林班於日據時代(西元1927年)即被編定沙里仙土砂扞止保安林，該保安林亦為實驗林目前唯一的保安林，其編入之目的為防止土砂崩壞及治理 陳有蘭溪及沙里仙溪等。該保安林位於玉山山麓，地勢陡峻，海拔自1200 m至3952 m，涵蓋32-34等十一個林班，面積為6449 ha。1985(民國74)年，沙里仙土砂扞止保安6449 ha 全部被劃入玉山國家公園範圍內，並將其區分為一般管制區(1145 ha 31、32、33 林班)、生態保護區(5074 ha, 34-42 林班)、遊憩區(60 ha, 31、33 林班)及特別景觀區(170 ha 37、38、42 林班)。對於實驗林水源涵養之規劃，陳永寬等(1993)以Mashimo and Arimitsu (1981)模式採用土壤、植生、坡度、海拔四種變數，先對四種變數予以分級再給予一權重分數，並以網格為分類單元，經由套疊分析應用於水源涵養林之規劃。而郭傳鎮(1994)則為改善套疊分析未能考慮變數間相關性的問題，採用因素分析、群落分析、判別分析針對上述四種變數，以集水區為分類單元應用於水源涵養林之規劃。

近年由於土地利用需求增加，森林遭受到破壞，其水資源涵養功能亦相對減低，對環境造成負面衝擊等相關問題，此即森林在未經合理的土地規劃下，遭破壞或不當利用所產生的負面效果。因此本研究之動機即針對上述問題，就地形與植生條件，以多變值統計分析方法選擇適當變數，並改進McHarg生態規劃方法的缺點，來提高規劃準確性；同時應用地理資

訊系統於空間資料的分析、展示與儲存，期使達成林地分類作業流程自動化的目地，以提供林業經營以及土地開發利用時的參考。

材料與方法

一、研究試區概述

本文之研究試區為位居台灣中部台大實驗林之六個營林區，外觀呈狹長形，南北長約37 km，東西寬自6至14 km不等，地勢上為北低南高之走向，最低處為濁水溪南岸之桂子頭(海拔220 m)，最高點為南端境界上之玉山(海拔3,952 m)，全區山勢大都陡急，僅局部山麓帶有少許之緩斜地。區內各地土壤，其差異性頗為顯著，大體言之：濁水溪沿岸以粘土為主；北勢溪及陳有蘭溪沿岸多屬砂質壤土；和社營林區一帶則為石礫土。險峻地區，土壤深度較淺，緩斜地區則土層深厚尚存有腐植質。區域內之雨量豐沛，平均年雨量在2,000 mm左

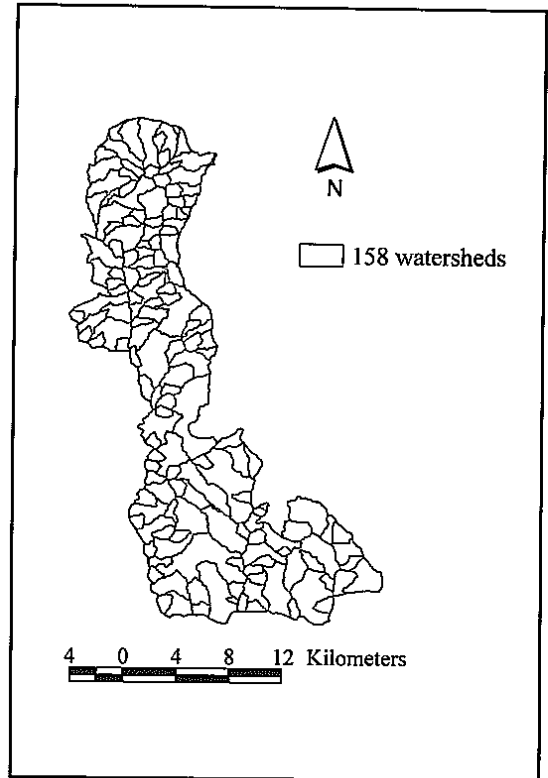


Fig. 2. Watershed boundary map extracted from DTM.

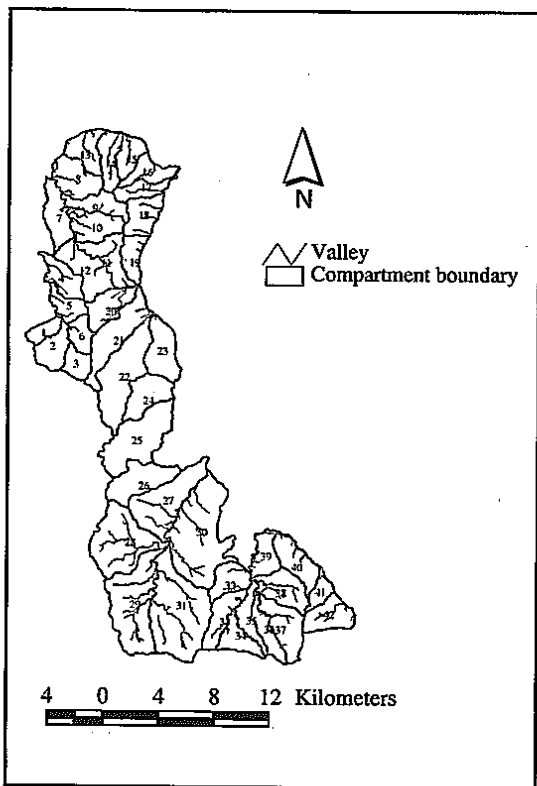


Fig. 1. Valley map extracted from DTM and compartment map.

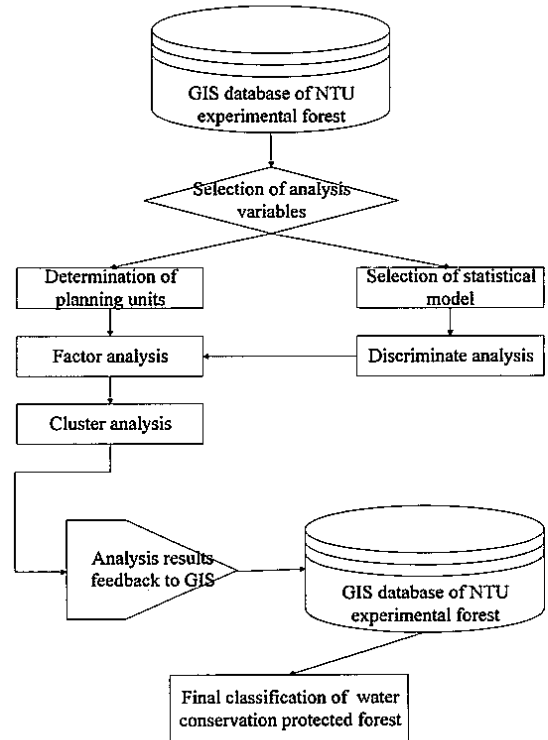


Fig. 3. Structure of the study method.

右，尤以海拔在2,200 m以上地區，年雨量平均達3,600 mm以上；溪頭營林區次之，平均在2,700 mm。

二、研究材料及設備

本研究所需之材料，為台大實驗林地理資訊系統資料庫中，源自於數值地形模型，門檻值(threshold)設定為350時所萃取之谷系(Fig. 1)，以及所劃分之158個集水區(Fig. 2)，並以此158個集水區做為基本儲存單元的12項變數(賴晃宇等, 1997)。採用的設備在硬體方面主要為SUN SPARC WORKSTATION、HP PaintJet XL300 彩色噴墨印表機；軟體部份則為ARC/INFO 與ARC/VIEW 2 地理資訊系統軟體、ERDAS 影像處理軟體，以及SAS、SYSTAT、STATISTICA等統計套裝軟體。

三、研究方法

研究方法可分為規劃單元的決定、影響變數的界定、因素分析、群落分析、逐步判別分析以及回饋分析結果等六個部分，其整體架構如Fig. 3所示。

(一)決定規劃單元

規劃水源涵養保安林的第一個步驟，即為決定規劃單元。一般常用的規劃單元有網格、地形單元(terrain mapping unit)、集水區單元(subwatershed)等。本研究則從水文學、地形學、生態學三個方面的考量，決定採用集水區做為規劃單元。

在水文學上，集水區界決定流域大小與形狀，其對於流域內之水土保持與洪水頻率有決定性的影響；在地形學上，集水區代表著一均質的地形單元，可反應出實際地形特徵(黃書禮, 1988；鄭祈全, 1995)；而在生態學上，山區內的森林生態系以集水區來劃分其境界，最為恰當。因為在集水區內的谷系有特定的出口點(outlet)，有助於研究生態系統內能量的循環。

Odum (1969)則指出欲發展一套健全合理之土地使用政策，必須以生態系統為基礎，而此生態系統以集水區為單元最為恰當。

(二)影響變數的界定

對於規劃水源涵養保安林所須分析變數之界定，大致可歸納為三種方法；第一是將所有可收集到的資料，直接拿來分析，本法過於粗放，缺乏理論基礎，故不予討論；第二是由前人研究來界定可能影響變數；第三是由統計模式來選定變數。

1. 前人研究界定可能影響變數

影響林地水源涵養能力的因子，可以從地形因子、水文因子與生態環境因子來探討。根據前人研究成果，自目前台大森林地理資訊系統資料庫中找出與地形因子、水文因子或生態因子有關變數共12種。這12種變數與林地地形、水文循環或生態環境之相關性，如下所述：

(1)高程

高程主要影響植生之分佈、降水量等。

(2)坡度梯度

坡度梯度(slope gradient)為一重要且被廣泛應用的地景形態模型。以往一些林地分類方法即以坡度梯度為主要的分級因子，在配合其他次要因子如土壤深度、土壤排水力、土壤肥力等進行林地分類。在其他方面坡度梯度也影響物體運動速率，以及沖蝕之發生。

(3)地形位置

地形位置(terrain position)的推算，對於環境經營所需參數之提供，具有重要地位。在本研究中地形位置資料為分級資料，共分為5級(山谷、下坡、中坡、上坡、稜線)。

(4)坡向多樣化指標

坡向多樣化指標為將坡向分級後，透過地景空間圖像(landscape spatially pattern)量化分析中之Shannon's歧異度指標(diversity index)來推算坡向在空間上的異質性。因此依該指標計算所得之指標值，代表坡向之變化，如果所得指標值愈高，則代表區域有複雜的坡向型存在。

(5)地形多樣化指標

地形多樣化指標之推算是以地形位置圖層為基礎，配合Shannon's歧異度指標來計算，當所得之指標值愈大時，則代表地形之空間連續

性小，地形變化複雜。

(6)剖面曲率

剖面曲率為坡面之縱斷面曲率，指出坡面之縱斷面為凸面(convex surface)或凹面(concave surface)。其影響流量加速(acceleration)或減緩(deceleration)，與地表面物質的沖蝕與沉澱(deposition)有關(Moore *et al.*, 1993)。

(7)平面曲率

平面曲率為坡面之橫斷面曲率，其指出坡面之橫斷面為凸面或凹面，進而定義出流量在谷系(valley)的收斂(convergence)或嶺線(ridge)的發散(divergence)(Moore *et al.*, 1993)，Burt 和 Butcher (1986)指出平面曲率與坡度可用來綜合估土壤含水量。

(8)曲率

曲率為平面曲率與剖面曲率之差，代表坡型(slope shape)之變化，與土壤水(soil water)之分佈有明顯相關。一般在凹面坡(concave slope)土壤水比在凸面坡(convex slope)之土壤水集中。可用來了解沖蝕與逕流之機制，而Zaslavsky和Sinai (1981)則指出曲率與土壤水的含量的相關性其 r^2 值高達0.81。

(9)蝕溝指數

蝕溝指數(ephemeral gullies index)，為Throne等於1986提出，主要用來判定蝕溝發生位置，進而做為水土保持工程施工上之參考。

(10)潤濕指標

地層之剖面可分為二部份即通氣層與飽合層(zone of saturation)，而在二層之間有一不規則層面稱為地下水位(water table)。在通氣層中，土壤空隙含有空氣與水。飽合層中，空隙中皆含有水份，此種水稱為地下水(ground water)。潤濕指標即可代表土壤含水量(soil water content)和飽和層之空間分佈與面積大小，以及逕流可能發生區域有關(Speight, 1980)。潤濕指標可提供下列幾點之應用：

- ①在土壤水呈飽合狀況下，可經由定義潤濕指標值之門檻值時，來預測逕流的發生。因為土壤水經由滲漏作用(percolation)

而形成地下水的過程，必需在土壤含水量超過田間含水量(field capacity)時才會發生。因此經由潤濕指標之計算，配合門檻值的設定，具有應用於非點污染源與地下水補充之預測能力(Moore and Nieber, 1989)。

- ②潤濕指標值與未經人為開墾之集水區的表面土壤含水量二者之間具有高度的相關。其與平面曲率之乘積可以與表面土壤含水量產生最關聯。同時潤濕指標若和蝕溝指數一起使用，可用來預測小型集水區中蝕溝發生的位置(Moore *et al.*, 1988)。

- ③Burt 和 Butcher (1986)指出潤濕指標乘以平面曲率，則可以與表面土壤含水量產生最佳關聯。

- ④Moore等(1988)指出潤濕指標與坡向是與表面土壤含水量成線性相關。

- ⑤Jones(1986)指出潤濕指標可為土壤含水量的空間分佈與土壤水流域(soil water drainage)指標。

(11)坡長-坡度指數

坡長-坡度指數(length-slope, LS)為Moore和Burch (1986)所提出，用來預測地景中單一網格之沖蝕。在應用上本式較以往之LS實驗式符合複雜的地景變化，若應用在USLE公式中，可以更有效估計土壤沖蝕率。

(12)水份梯度

水份梯度(moisture gradient)一詞並不是單指'水份的梯度'(gradient of moisture)而言，也不代表單因子的梯度，而係代表整體複合環境的梯度，故又可稱為複合梯度(complex gradient)(Whittaker, 1965)，為數種生育地因子之合成效應的代表。根據研究，水份梯度除了影響植被分佈外(Whittaker, 1960; Vetaas, 1993)，森林的組成從空間分佈的格局(spatial patterns)上來看，是沿著地形的水份梯度變化而變化(Monk and Day, 1985)，而在種歧異度方面也隨水份梯度的增加而增加(Rikhari *et al.*, 1989)。

經由上述前人研究指出，12種變數與地形因子、水文因子或生態因子都有相關。因此本研究在規劃水源涵養保安林時將其視為其中一個方法，即直接採用此12種變數，進行分析規劃。

2. 統計模式選定影響變數

以前人研究來界定分析規劃變數，通常會遭遇到下述二個問題。

(1)變數的重要性無法確定：影響水源涵養保安林規劃之變數，雖然主要為地形因子、水文因子或生態因子，但由於自然環境的複雜性，可以肯定的是吾人不可能找出所有的影響變數。但在分析上，吾人至少要找出"重要"的影響因子。但問題在於什麼才是"重要"的影響變數？根據前人研究所界定之影響變數，是在不同的研究目的下所界定的，因此不同的變數對於不同的研究目的來說可以說都是"重要"的變數。但其與水源涵養是否"有關"？其"重要性"又為何？難以確定!!

(2)所能提昇準確性有限：由於變數多，在變數資料收集推算上耗時費錢，同時造成統計分析上處理量的增加，而結果在準確性上卻不見得提昇。

因此本研究針對上述所提前人研究界定變數之缺點，同時採用以統計模式來選取影響變數的方法，再進行其他分析。並比較二種選擇影響變數方法在最後分析結果上有何差異，以供後人參考。

(三)依前人研究選取可能影響變數進行統計分析

經依前人研究找出與地形變化、水文循環和生態因子有關的變數，共有12種，分別為高程、坡度梯度、地形剖面、坡向多樣化指標、地形多樣化指標、剖面曲率、平面曲率、曲率、蝕溝指數、潤濕指標、坡長-坡度指數、水份梯度等。因此以這12種變數做為與水源涵養保安林規劃有關的可能影響變數。

1. 因素分析

本研究採用SAS之FACTOR程序對12種變

數予以分析，其主要步驟如下：

(1)計算相關係數矩陣

因為12種影響變數單位不一，因此計算其相關係數矩陣，以做為後續分析之用，同時用以了解各變數間之相關性。

(2)共同因素之抽取

以主成份法(principal component method)來進行共同因素的抽取。而對於所抽取之共同因素，則以陡坡測驗法(scree test)根據因素變異量遞減的比率，來決定應該抽取的共同因素個數。

(3)因素的轉軸

在因素抽取完後，為了使因素意義更加明顯，所以進行因素轉軸，轉軸之種類可分為二類。即直交轉軸，如最大變異法(varimax rotation)、四方最大法(quadrimax rotation)等；另一種為斜交轉軸法，如斜交最小法(obliminrotation)、最優斜交轉換法(promax rotation)等。

如何選擇轉軸法?以統計上的觀點來看，所有轉軸法是相等的，但在應用上則以容易解釋的轉軸法就是好的轉軸法，因此本研究採用最大變異法做為轉軸法。

在轉軸後則須重新計算因素負荷量(factor loading)。

(4)因素分數的計算

因素分數(factor score)，為原來在p個維度空間之n個觀測值向量，經過因素分析後，投射到共同因素所組成的q個維度空間所形成的n個點。因此吾人可以從q個維度的n個點來瞭解p個維度的資料點。由於q比p小代表資料的維度已縮減，因此可用因素分數取代原有資料以利後續之群落分析使用。

2. 群落分析

群落分析的步驟是先利用因素分析所得之因素分數，做為資料來源，再對資料予以分群。而對於分類組數的決定，可分為二種方法。第一種為直接應用非階層式群落分析之k-means法，先透過決定不同的分類組數，由其分類結

果之Cubic分群指標(cubic clustering criterion; CCC)之變化來決定最適分類組數，此法在應用上如果對於實際地面狀況不了解時，則必須經不斷嘗試才能決定最適分類組數，而當資料量大時，在求取最適分類組數時也將耗費不少時間；第二種則為應用階層式群落分析，先直接求得一個最適分類組數，再應用非階層式群落分析直接將資料予以分群。

此二種方法在應用上各有其優缺點，如k-means法可以比階層式群落分析得到最佳的分類組數，使各分類組別其組間差異最大，組內差異最小。而階層式群落分析則具有可迅速得到分類組數的優點，但其對分類組數推算的準確性，則比k-means演算法差。本研究由於無法得知經由因素分析後，所得之因素分數在空間上的分佈，到底可分幾個組類，因此採用第二種方法，分析所得之因素分數，詳述如下：

(1)階層式群落分析

所採用的階層式群落分析方法為Ward's最小變異數法。應用Cubic分群指標、擬似F值(pseudo F; PSF)與擬似 t^2 值(pseudo t^2 ; PST2)來決定最適分類集群數(Milligan and Cooper, 1985)。

Cubic分群指標判斷標準為「區域最高點」，當其值域變化為「先升後降」時，最高點處所指集群，為適當分類集群數；擬似F值為集群間變異均方與集群內變異均方的比例(張建邦, 1983)，判斷標準也是「區域最高點」；擬似 t^2 值判斷標準為「突然上升」，二集群間擬似 t^2 值差異最大時，擬似 t^2 值較低者所指集群數為適當分類集群數。

(2)非階層式群落分析

由於k-means演算法具有快速將大量的資料分離為不同集群之優點，因此第二部份的分析，係利用上述階層式群落分析所得到最適分類集群數，做為分類集群數的標準，然後應用k-means演算法對因素分數進行分類。

(四)以統計模式來選取變數進行統計分析

以統計模式選取變數之分析方法，與前人

研究選取變數所進行統計分析相似，但在因素分析之前，12種變數必須經由逐步判別分析來選擇重要變數。判別分析與迴歸分析相當類似，主要是計算一組自變數的線性組合，以對一個應變數重新加以分類。其功用是在於「解釋」與「預測」。其加權值在迴歸分析中即為迴歸係數，在判別分析中則稱為區別函數係數。在迴歸分析中應變數為計量資料(metric data)，當應變數為二分變數時，則可使用對數式迴歸(logistic regression)，但如果應變數為非計量(nonmetric)之多分變數時，則必須採用判別分析。因此對於判別分析來說，其自變數為計量資料，而應變數為非計量資料(陳正昌、程炳林, 1984)。

從「預測」的觀點來看判別分析，研究者可以根據已知之某一觀測體所有自變數之數值，進行分類，待事件發生後再驗證分類的準確性。而從「解釋」方面來看，判別分析主要在了解那幾個變數可以用來區分不同組別，而這些組別又有何不同。

本研究中，將高程予以分級，做為應變數，其他由高程導出之相關變數則列為自變數，應用逐步判別分析於影響變數之選擇。至於為何以高程為應變數，以及採用逐步判別分析原因，分述如下：

- 1.在水源涵養保安林之規劃上，考慮的因子可分為三方面，即植生、土壤、地形。但三者中最重要的是為地形因子，因為植生與土壤在對於水源涵養效用，大部份皆須遷就於地形因子，尤其是高程與坡度梯度(Mashimo, 1981)。由於所選擇之變數皆導源於高程，如坡度梯度為高程之一階導數，曲率為高程之變化等，其皆與高程有關，因此以高程做為應變數。
- 2.以地景的觀點來看，其前提假設即為集水區本身是一個均質的地景形態單元(landscape morphologic unit)，其地形的主要變化即高程的變化，是漸進起伏，不是突然上升或下降，具有相似高程之集水區，在其

他的地形因子上是相似的。因此透過以集水區為單元，依高程將各集水區予以分類，可得到不同的形態群落 (morphologic cluster)。其對水源涵養保安林規劃之適宜性也不一樣。再經由逐步判別分析來找出能區別各形態群落之最重要的變數。

3. 為何不用逐步迴歸分析而用逐步判別分析？因為在規劃之空間尺度不同。在逐步迴歸中應變數須為計量變數，如果吾人只考慮一個集水區之水源涵養林規劃，就可以用逐步迴歸分析，找出重要變數。本研究因為有158個集水區要規劃，不可能分別以一個個小集水區去分別選擇變數，再進行因素分析與群落分析，找出水源涵養保安林之適宜性等級。因此必需要先依高程將相似地形的集水區合併分級，再透過逐步判別分析找出重要影響變數。

(五) 逐步判別分析

判別分析也與迴歸分析一樣，可以一次將所有變數均投入分析，也可以用逐步分析的方式，選擇較重要的變項，此即逐步判別分析。

本研究統計分析中的一部份將採用逐步判別分析來選取重要變數，再進行因素分析與群落分析。

(六) 回饋分析結果

經由統計分析後所得結果，即各集水區屬

於何種分類等級，皆必須透過資料關聯的方式，回饋GIS圖層中，以供分析、展示規劃結果之用。

結果

一、12種變數之分析結果

(一) 因素分析

Table 1為12種影響變數之相關係數矩陣。其中地形多樣化指標與地形位置；高程與坡度、潤濕指標、坡長-坡度指數；坡度與潤濕指標、坡長-坡度指數等具有高度相關；而曲率與平面曲率、剖面曲率，以及其他變數之間皆具某種程度之相關性。因此可透過因素分析將高相關的變數組合成一因素，以減少資料的維度，同時並經由直交轉軸去除因素間相關性。

以主成份法所萃取之共同因素，經由陡坡測驗法決定選取5個因素取代原有變數，其累計解釋變異量(cumulative)為86%(Table 2)，並採用最大變異法，進行因素轉軸，同時重新計算因素負荷量(Table 3)。

各變數在因素內的重要性可由因素負荷量(Table 3)看出。負荷量愈大的變數與因素之相關性愈高，以下則分別依Table 3說明所抽取之5個因素之特性。

因素I：以坡度梯度、坡長-坡度指數、高程、潤濕指標為其主要特性。

Table 1. Correlation coefficient matrix of 12 variables

| Variable | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Aspect diversity index (1) | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| Terrain position diversity index (2) | -.02 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| Elevation (3) | -.08 | .25 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Slope (4) | -.08 | .12 | .73 | 1.00 | | | | | | | | |
| Curvature (5) | -.06 | -.06 | -.21 | -.06 | 1.00 | | | | | | | |
| Plan curvature (6) | .24 | -.09 | -.50 | -.33 | .50 | 1.00 | | | | | | |
| Profile curvature (7) | .31 | -.03 | -.29 | -.27 | -.49 | .51 | 1.00 | | | | | |
| Wetness index (8) | .08 | -.12 | -.65 | -.90 | -.12 | .33 | .46 | 1.00 | | | | |
| Terrain position (9) | -.20 | .89 | .21 | .13 | .06 | -.05 | -.11 | -.16 | 1.00 | | | |
| Length-slope (10) | -.12 | .05 | .71 | .91 | -.22 | -.32 | -.10 | -.69 | .02 | 1.00 | | |
| Gully index (11) | -.14 | .03 | -.25 | -.37 | .12 | -.16 | -.29 | .16 | .09 | -.61 | 1.00 | |
| Moisture gradient (12) | -.08 | .02 | .12 | .15 | .07 | -.25 | -.32 | -.28 | .16 | -.03 | .30 | 1.00 |

Table 2. Eigenvalues and cumulative proportion of 12 factors

| Factor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Eigenvalue | 3.94 | 2.22 | 1.76 | 1.47 | 0.98 | 0.69 | 0.44 | 0.29 | 0.10 | 0.07 | 0.01 | 0.00 |
| Difference | 1.72 | 0.45 | 0.29 | 0.48 | 0.28 | 0.25 | 0.15 | 0.18 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | |
| Proportion | 0.32 | 0.18 | 0.14 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cumulative | 0.32 | 0.51 | 0.66 | 0.78 | 0.86 | 0.92 | 0.95 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 |

Table 3. Factor loading of 12 variables

| Variable | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Slope gradient | 0.96505 ¹⁾ | 0.05248 | 0.03997 | -0.00887 | -0.01900 |
| Length-slope index | 0.92714 ¹⁾ | -0.03118 | -0.24264 | -0.15523 | -0.07851 |
| Elevation | 0.79933 ¹⁾ | 0.18194 | 0.11161 | -0.25977 | -0.08287 |
| Wetness index | -0.87693 ¹⁾ | -0.06476 | -0.28556 | -0.14606 | 0.03884 |
| Terrain position diversity index | 0.08007 | 0.96595 ¹⁾ | 0.00455 | -0.06194 | 0.01597 |
| Terrain position | 0.06887 | 0.96209 ¹⁾ | 0.09074 | 0.05705 | -0.11106 |
| Mositure gradient | 0.12151 | 0.06339 | 0.77986 ¹⁾ | -0.00387 | 0.13354 |
| Gully index | -0.50376 | 0.07557 | 0.68004 ¹⁾ | -0.01923 | -0.18516 |
| Profile curvature | -0.30615 | 0.02618 | -0.63305 ¹⁾ | -0.30910 | 0.49544 |
| Curvature | -0.04034 | -0.00848 | 0.16227 | 0.96912 ¹⁾ | -0.11895 |
| Plan curvature | -0.34414 | 0.01865 | -0.46832 | 0.64992 ¹⁾ | 0.37286 |
| Aspect diversity index | -0.02571 | -0.08430 | 0.01182 | 0.00851 | 0.91620 ¹⁾ |

¹⁾Indicates that the more loading variables, the higher correlation with factors.

因素II：以地形多樣化指標與地形位置為其主要特性。

因素III：以水份梯度、蝕溝指數、剖面曲率為其主要特性。

因素IV：以曲率與平面曲率為其主要特性。

因素V：以坡向變化指標為其主要特性。

(二) 群落分析

利用因素分析所計算之158個集水區，在5個因素上的因素得點，取代原影響變數，先進行階層式群落分析，以求得在水源涵養保林規劃上集水區分類之最適群落組別。

(三) 階層式群落分析

5個因素得點之CCC分群指標，在第8、7、6、5集群數時，分別為-2.40、-2.85、-3.02、-3.69，區域最高點為第6集群；擬似F值在第8、7、6、5集群數時，分別為28.9、29.7、31.1、28.0，區域最高點為第6集群；擬似 t^2 值，在第8、7、6、5集群數時，分別為14.7、9.1、13.0、22.9，其值

在第6集群時突然上升。因此經由三個指標共同判斷，決定最適分類集群數為6個群落(Table 4)。

(四) 非階層式群落分析

經由階層式群落分析決定最適分組別後，直接採用k-means演算法將5個因素得點，分為6組群落。Table 5為分類後各群落之特性與其所屬集水區單元表。

經歸納上表各群落之因子得點，可瞭解各群落內集水區之因素特性如下：

群落1之集水區以因素V為其主要特性，因素III次之；

Table 4. The CCC, PST, and PST2 of different numbers of clusters on 5 factor scores

| Cluster | CCC | PSF | PST2 |
|---------|-------|------|------|
| 8 | -2.40 | 28.9 | 14.7 |
| 7 | -2.85 | 29.7 | 9.1 |
| 6 | -3.02 | 31.1 | 13.0 |
| 5 | -3.69 | 28.0 | 22.9 |

Table 5. Result of classifying subwatersheds to 6 clusters and determining characteristics of each cluster

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V | Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 3 | -1.16643* | -0.38546 | -0.11763 | -0.36175 | 1.05282* | 3 | 16 | -0.95352 | 0.61542 | -1.63344* | 0.17731 | -0.46217 |
| 1 | 9 | -1.39127* | 0.19264 | 0.04165 | -0.00684 | 1.17653* | 3 | 17 | 0.38600 | 0.63698 | -1.91068* | -1.14766* | -0.18864 |
| 1 | 14 | -1.92657* | -0.35440 | 0.59857 | -0.02427 | 1.33789* | 3 | 18 | -1.11721* | 0.50714 | -1.78542* | 0.67655 | -0.81768 |
| 1 | 19 | -1.66580* | -0.02222 | -0.03159 | 0.03547 | 0.96501 | 3 | 20 | -0.29283 | 0.21608 | -1.95197* | 0.73546 | -1.16020* |
| 1 | 21 | -0.61580 | 0.44141 | -1.59737* | -0.19231 | 1.17598* | 3 | 22 | -0.71019 | 1.18214* | -1.41898* | -0.10537 | 0.61768 |
| 1 | 25 | -0.63574 | 0.37071 | -1.29146* | 0.47069 | 0.71868 | 3 | 24 | -0.21539 | 0.00080 | -1.32325* | -0.12815 | -0.26150 |
| 1 | 26 | -1.51343* | 0.50797 | -0.69740 | 0.32302 | 1.60104* | 3 | 29 | 0.25297 | 0.71913 | -1.08767* | 1.05346* | 0.00878 |
| 1 | 33 | 0.07910 | -0.05971 | -0.25614 | -1.30961* | 0.55147 | 3 | 31 | 0.38614 | 1.24638* | -0.93327 | -0.66324 | -0.25985 |
| 1 | 36 | -1.07193* | 1.12802* | -0.73059 | 0.84213 | 2.18571* | 3 | 34 | 0.03841 | 0.79538 | -1.66623* | 0.45471 | -0.73014 |
| 1 | 39 | -0.32959 | 0.60917 | -1.16641* | -0.30865 | 1.34167* | 3 | 35 | 0.13589 | 0.68160 | -1.25238* | -0.03015 | 0.42233 |
| 1 | 40 | -0.08617 | -0.72999 | -0.06984 | -0.35470 | 1.29361* | 3 | 41 | 0.45552 | 1.33966* | -0.72704 | -0.09500 | -0.59852 |
| 1 | 46 | -0.69257 | -1.26314* | -1.28736* | -0.04237 | 2.34575* | 3 | 44 | -0.51388 | 1.49045* | -0.86174 | 0.03599 | 0.88645 |
| 1 | 47 | -0.79633 | -0.58482 | -1.19654* | -0.68820 | 1.54167* | 3 | 57 | -0.59732 | -0.19447 | -0.81048 | 0.62832 | -0.91512 |
| 1 | 48 | -0.84335 | 0.96961 | -0.64377 | -0.50849 | 0.59977 | 3 | 59 | -0.88487 | 1.09777* | -0.81036 | 0.08973 | -0.18065 |
| 1 | 50 | -1.05336* | -0.05728 | -0.30773 | 0.18372 | 0.55817 | 3 | 65 | -0.23588 | 1.10781* | -1.29723* | -0.97842 | -0.26325 |
| 1 | 53 | -0.60649 | -0.64605 | -1.04277* | 0.56217 | 0.09351 | 3 | 75 | -0.88483 | 0.30783 | -1.10277* | 0.23753 | -1.22603* |
| 1 | 60 | -0.74703 | -1.13665* | -0.16189 | -0.03655 | 0.72490 | 3 | 79 | -0.52378 | -0.01881 | -0.80274 | 0.57829 | -1.38228* |
| 1 | 95 | 0.28071 | -0.19864 | -0.06841 | -0.22005 | 1.40342* | 3 | 82 | -0.14469 | 0.85264 | -1.25168* | 0.00625 | -0.33026 |
| 1 | 101 | 0.08151 | -0.46552 | -1.15759* | 0.00624 | 1.21805* | 3 | 89 | 0.33818 | 1.21320* | -1.01428* | 0.19957 | 0.40603 |
| 1 | 110 | 0.30794 | -1.13460* | -0.99568 | -0.24747 | 1.03074* | 3 | 91 | 1.05004* | 1.03568* | -0.13560 | 0.02319 | 0.31877 |
| 1 | 113 | 0.81842 | -0.60790 | -1.21486* | -0.02349 | 1.99162* | 3 | 92 | 0.83694 | 0.47004 | 0.03201 | -1.01736* | -0.46709 |
| 1 | 129 | 0.62633 | -0.82690 | -1.19681* | -0.10004 | 1.20008* | 3 | 100 | 0.16202* | 0.94340 | -0.55950 | -0.04508 | -0.49121 |
| 2 | 56 | -0.65418 | -0.97522 | -0.09995 | 0.28122 | 0.12718 | 3 | 103 | 1.23022* | 1.05352* | -0.91909 | 0.16082 | 0.12038 |
| 2 | 68 | -0.30192 | -0.68931 | -0.58864 | -0.04837 | 0.08724 | 3 | 105 | 0.81762 | 0.77654 | -1.08044* | -0.07292 | -0.06827 |
| 2 | 78 | 0.40310 | -1.35941* | -0.40455 | -0.08872 | -0.35529 | 3 | 124 | 1.09950* | 1.82764* | -0.74664 | 0.51422 | 0.17055 |
| 2 | 86 | 0.02132 | -1.33906* | -1.38835* | -0.10769 | -0.27386 | 3 | 125 | 0.84625 | 0.24318 | -0.38589 | -0.11765 | 0.23434 |
| 2 | 94 | -0.14082 | -1.91633* | 1.28377* | -0.28878 | -0.28220 | 3 | 126 | 0.58360 | 1.05774* | -0.29138 | 1.00770* | -0.23950 |
| 2 | 106 | 0.86089 | -1.83163* | -1.79791* | -0.45037 | 1.06434* | 3 | 127 | 0.10337 | 0.06461 | -1.19228* | -0.00678 | -0.33302 |
| 2 | 111 | 2.32186 | -4.77210* | -0.00413 | 0.51365 | 0.12859 | 3 | 132 | 0.53205 | -0.15555 | -0.92000 | 0.24999 | 0.35265 |
| 2 | 112 | 0.71303 | -0.93440 | 0.27753 | -0.41022 | 0.59714 | 3 | 134 | 1.68444* | 0.18385 | -1.37338* | -0.35232 | -0.76452 |
| 2 | 115 | 0.80402 | -0.54561 | -0.92123 | -0.21647 | 0.67105 | 3 | 135 | 0.41387 | 0.42974 | -1.51802* | -0.61221 | -0.60467 |
| 2 | 118 | 1.20722* | -1.17985* | -0.30523 | 0.96819 | -1.31784 | 3 | 136 | 0.82596 | 0.06250 | -0.65270 | 1.35145* | -2.22961* |
| 2 | 121 | 1.03715* | -1.43857* | -0.18036 | 0.00124 | -1.84322 | 3 | 139 | 1.20247* | 2.01214* | -1.34305* | 0.60349 | -0.89597 |
| 2 | 122 | 1.10788* | -3.55158* | 0.22571 | 1.30116* | -1.80447 | 3 | 142 | 1.28720* | 0.66338 | -1.17849* | -0.60241 | -0.48344 |
| 2 | 123 | 1.93343* | -2.97044* | 0.60577 | -1.22165* | 1.84029* | 3 | 148 | 2.10460 | 2.00800* | 0.01946 | 0.64165 | -0.65467 |
| 2 | 128 | 2.13592* | -1.44873* | -0.90227 | 0.03564 | 1.10975* | 3 | 150 | 0.93054 | 0.06593 | -0.30189 | -0.46204 | 0.30462 |
| 2 | 130 | 1.41845* | -1.60674* | -0.10126 | -0.05803 | -1.21744* | 3 | 151 | 0.06003 | 1.20101* | -0.73915 | 1.11476* | -0.60613 |
| 2 | 133 | 0.31931 | -0.97884 | -0.86957 | -1.08367* | 0.63482 | 3 | 156 | 0.51946 | 1.82953* | -0.93945 | 0.65790 | -1.90965* |
| 2 | 137 | 1.06744* | -1.81292* | 1.10536* | 1.35933* | -0.74323 | 4 | 2 | -1.82541* | -0.90503 | -0.19466 | 0.55270 | -0.50428 |
| 2 | 140 | 1.30637* | -1.01281* | 0.16937 | -0.17453 | 0.49787 | 4 | 5 | -2.07659* | -0.29498 | -0.22373 | 0.19884 | -0.63944 |
| 2 | 144 | 2.02389* | -0.91072 | 0.47234 | 0.33086 | 0.58666 | 4 | 6 | -2.27170* | -0.87488 | 0.39392 | 0.08779 | -3.04481* |
| 2 | 145 | 1.68510* | -1.48659* | -1.32397 | -0.78778 | 0.57468 | 4 | 8 | -2.07858* | -0.58288 | -1.03925* | 0.43842 | -1.61965* |
| 2 | 149 | 1.12774* | -0.37215 | -0.23703 | -0.02139 | 0.42581 | 4 | 27 | -2.67263* | -0.19550 | 1.33848* | -0.14939 | -1.30439* |
| 3 | 11 | -0.67080 | -0.39777 | -1.46739* | 0.17422 | -1.50960* | 4 | 30 | -1.79572* | -0.46474 | 0.47567 | -0.12865 | 0.12997 |
| 3 | 15 | -1.08630* | 0.29442 | -1.52867* | -0.39309 | -0.98729 | 4 | 38 | -1.19702* | -0.39152 | -0.75410 | 1.18794* | -0.32640 |

Table 5. Result of classifying subwatersheds to 6 clusters and determining characteristics of each cluster(continued)

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 4 | 63 | -1.44485* | 0.13231 | -0.70791 | 0.13479 | -0.26106 |
| 4 | 66 | -2.15985* | -1.12997* | 0.60858 | 0.41170 | -1.21495* |
| 4 | 73 | -1.24391* | 0.54994 | -0.30177 | 0.58845 | -0.58388 |
| 4 | 74 | -0.34547 | -0.97586 | 0.53792 | 0.34905 | -1.02467* |
| 4 | 77 | -0.68827 | -1.26685* | 0.49121 | -0.05210 | -1.64244* |
| 5 | 7 | -1.20516* | -0.85202 | 0.66737 | -0.83550 | -2.04075* |
| 5 | 28 | -0.87831 | -0.32080 | 1.14637* | -2.09291* | -0.20819 |
| 5 | 32 | 0.21479 | -0.17041 | 0.56636 | -3.42067* | -1.89733* |
| 5 | 42 | -0.15883 | -0.89991 | 0.36986 | -1.15181* | -1.45074* |
| 5 | 71 | 0.58852 | 0.90122 | 0.06654 | -0.18625 | -2.24558* |
| 5 | 76 | -0.28364 | 0.17848 | 1.38432* | 0.50640 | -1.80912* |
| 5 | 96 | 0.18866 | -0.65330 | 1.00624* | 0.25593 | -2.45396* |
| 5 | 114 | 0.85548 | 0.90911 | 1.03529* | -8.45881* | -1.70035* |
| 5 | 116 | 0.59513 | 0.74026 | 0.80436 | -0.49689 | -2.04319* |
| 6 | 4 | -1.39851* | 0.35124 | 1.42657* | -0.52800 | 1.37547* |
| 6 | 10 | -1.92748* | 0.00444 | 0.65945 | -0.50609 | 0.89803 |
| 6 | 12 | -1.58269* | -0.12286 | 1.16061* | 0.33135 | 0.48902 |
| 6 | 13 | -0.52497 | -0.39180 | 0.56938 | -0.92167 | 0.50818 |
| 6 | 23 | -0.80407 | -0.04029 | 0.42640 | 0.01544 | 0.65839 |
| 6 | 37 | 0.07190 | 0.44517 | 0.56248 | -0.72232 | -0.30966 |
| 6 | 43 | -1.09250* | 0.21290 | 1.50199* | -0.20773 | -0.11421 |
| 6 | 45 | -0.56969 | 0.21688 | 1.61707* | 0.07206 | -0.18550 |
| 6 | 49 | -0.05986 | -0.49765 | 0.91064 | -0.46033 | -0.44950 |
| 6 | 51 | -0.98481 | -0.26296 | 0.70302 | -0.39996 | 0.14048 |
| 6 | 52 | -0.05019 | -0.85448 | 0.85103 | -1.26081* | 1.20940* |
| 6 | 54 | -0.06332 | 0.58816 | 1.49899* | 0.26779 | 0.29233 |
| 6 | 55 | 0.46539 | 1.78207* | 1.28078* | -0.05080 | 0.55498 |
| 6 | 58 | -0.27585 | 0.69508 | 1.18287* | -1.35582* | 0.66706 |
| 6 | 61 | 0.23624 | 1.48728* | 1.41738* | 0.49599 | 0.95014 |
| 6 | 62 | -0.11902 | 0.90744 | 1.54217* | -0.32018 | 0.53380 |
| 6 | 64 | -0.40424 | 0.11891 | 0.98206 | 0.12901 | 1.43339* |
| 6 | 67 | -0.65999 | -0.14704 | 0.76873 | -0.47107 | 0.17432 |
| 6 | 69 | -0.83541 | 0.25494 | 0.39294 | 0.19338 | 0.07759 |
| 6 | 70 | -0.43991 | 0.22488 | 1.37836* | 0.32948 | -0.54722 |
| 6 | 72 | -0.89539 | -0.21682 | 0.83527 | 0.57676 | 0.05430 |
| 6 | 80 | -0.06003 | 0.09779 | 1.48904* | 0.81587 | -0.23871 |
| 6 | 81 | 0.35255 | 0.33032 | 1.38710* | -0.22175 | -0.50673 |
| 6 | 83 | -0.35619 | -0.73632 | 0.42023 | 0.40648 | -0.19398 |
| 6 | 84 | -0.55874 | 0.08654 | 1.59527* | 0.48048 | 1.37399* |
| 6 | 85 | -0.33958 | -0.35189 | 0.09554 | 0.10744 | 0.60597 |
| 6 | 87 | 0.22724 | -0.51326 | 0.95116 | -0.01238 | 0.92741 |
| 6 | 88 | -0.71246 | 0.46696 | 1.67618* | 0.74737 | 1.65325* |
| 6 | 90 | -0.59507 | 0.66658 | 1.06381* | 0.12045 | 0.96012 |
| 6 | 93 | 0.45201 | -0.18919 | 0.66840 | 0.21841 | 0.68316 |

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|
| 6 | 97 | -1.11663* | -0.65786 | 0.25553 | 0.15227 | 0.40649 |
| 6 | 98 | -0.22115 | -0.55455 | 0.11848 | 0.24881 | 0.78415 |
| 6 | 99 | 1.67940* | 1.23315* | 1.14999* | -0.20399 | 0.12407 |
| 6 | 102 | 1.23905* | 0.63499 | 0.95250 | 0.81731 | -0.34690 |
| 6 | 104 | 0.88830 | 1.44876* | 0.81323 | -0.92443 | 0.59912 |
| 6 | 107 | 0.96185 | 0.06643 | 0.11160 | -0.05579 | 0.94877 |
| 6 | 108 | 1.23083* | 1.01624* | 1.10534* | -0.11539 | 0.83312 |
| 6 | 109 | 0.58285 | 1.05556* | 1.09184* | 0.78972 | -0.43727 |
| 6 | 117 | 0.73823 | 1.18733* | 1.00416* | -1.26451* | -0.17065 |
| 6 | 119 | 0.58167 | 0.04418 | 1.61058* | 1.46948* | 0.18731 |
| 6 | 120 | 0.13517 | -0.18000 | 0.53121 | 0.64710 | 0.79044 |
| 6 | 131 | 1.13114* | 0.71092 | 1.09107* | 0.85092 | 0.43285 |
| 6 | 138 | 0.53977 | 0.83401 | 0.63454 | -0.78047 | -0.05506 |
| 6 | 141 | 0.77062 | -0.30922 | 0.17818 | 0.30883 | 0.63992 |
| 6 | 143 | 0.96049 | 1.10822* | 1.58794* | -0.45404 | 0.57527 |
| 6 | 146 | 1.07765* | -0.20239 | 0.55750 | 0.53886 | -0.42001 |
| 6 | 147 | 0.37772 | -0.16742 | 0.26159 | 0.05239 | 0.45769 |
| 6 | 152 | 0.42155 | -0.11425 | 1.03900* | 0.53216 | 0.83128 |
| 6 | 153 | -0.25652 | 0.85324 | 1.09268* | 0.64232 | 0.43394 |
| 6 | 154 | 0.50578 | 0.00911 | 1.48372* | 0.39483 | -0.21509 |
| 6 | 155 | 1.21266* | 0.73154 | 1.39905* | 2.98435* | -0.98082 |
| 6 | 157 | 1.66572* | 1.34116* | 1.03008* | 1.25533* | -0.14843 |
| 6 | 158 | 0.80055 | 0.63975 | 1.56595* | 1.89577* | -0.45837 |
| 6 | 159 | 0.58020 | 0.24540 | 1.08754* | 2.23528* | -0.03951 |

群落2之集水區以因素II為其主要特性，因素I次之；

群落3之集水區以因素III為其主要特性，因素II次之；

群落4之集水區以因素I為其主要特性；

群落5之集水區以因素V為其主要特性；

群落6之集水區以因素III為其主要特性；

為進一步了解各群落原始12個影響變數之性質，因此計算各群落中各影響變數之平均值 (Table 6)，以供做為6個群落在水源涵養保安林規劃上等級描述之輔助。

(五) 規劃結果

經由所抽取5個因素特性的描述，配合因素得點判斷6個群落內各集水區之主要或次要因素特性，加上6個群落中原始12個影響變數之平均值之輔助判斷，將6個群落，依水源涵養保安林之規劃適宜性分為非常高、高、中、低、非

Table 6. Mean values of 12 variables on 6 clusters

| Variable | Cluster 1 | Cluster 2 | Cluster 3 | Cluster 4 | Cluster 5 | Cluster 6 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aspect diversity index | 2.75 | 2.38 | 2.26 | 2.12 | 1.81 | 2.44 |
| Terrain position diversity index | 4.92 | 5.29 | 4.69 | 5.45 | 5.91 | 6.13 |
| Elevation | 33.61 | 1817.91 | 1484.82 | 666.85 | 1211.94 | 607.87 |
| Slope | 25.93 | 35.05 | 31.32 | 18.98 | 30.28 | 30.88 |
| Curvature | 0.00011 | -0.0086 | 0.0011 | 0.0051 | 0.07 | 0.00 |
| Plan curvature | 0.043 | 0.02 | -0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.002 |
| Profile curvature | 0.042 | 0.03 | -0.02 | 0.02 | -0.04 | 0.009 |
| Wetness index | 0.780 | 0.38 | 0.33 | 1.34 | 0.27 | 0.40 |
| Terrain position | 0.141 | 0.21 | 0.13 | 0.24 | 0.38 | 0.38 |
| Length-slope index | 2.358 | 3.92 | 2.93 | 1.77 | 2.69 | 2.82 |
| Gully index | 3.559 | -12.85 | -2.18 | -1.63 | -1.71 | 2.55 |
| Moisture gradient | 6.287 | 5.59 | 6.65 | 5.72 | 6.09 | 0.60 |

常低5個等級，其結果如下：

群落1之集水區等級為：非常低

群落2之集水區等級為：非常高

群落3之集水區等級為：低群落4之集水區

等級為：非常低

群落5之集水區等級為：中

群落6之集水區等級為：高

Fig. 4為規劃結果。

二、8種變數之分析結果

(一)應變數-高程之分級

158個集水區之高程分級，經先以階層式群落分析中CCC分群指標、擬似F值與擬似 t^2 值共同判斷決定158個集水區之最適高程分類集群數為6級(Table 7)

Fig. 5為158個集水區依高程分為6級。

(二)變數之選取

在決定應變數之分級數後，以11種變數(不包括高程變數)做為自變數，進行逐步判別分析，所選出之八個變數，依其進入區別式中之先後次序，分別為地形位置、潤濕指標、曲率、坡向多樣化指標、水份梯度、地形多樣化指標、坡長-坡度指數、剖面曲率。

在所選的八個變數中，其中以往一直被認為與林地水源涵養能力有關之坡度梯度並未被選入，而被坡長-坡度指數取代，因為其與坡長-坡度指數具有高度相關(Table 1)，相關係數高達0.91。

Table 7. The CCC, PST, and PST2 of different numbers of clusters at 158 subwatersheds by elevation classification

| Cluster | CCC | PSF | PST2 |
|---------|-------|-----|------|
| 8 | -4.42 | 935 | 40.8 |
| 7 | -3.82 | 878 | 77.9 |
| 6 | -3.65 | 773 | 188 |
| 5 | -5.38 | 537 | 73.9 |

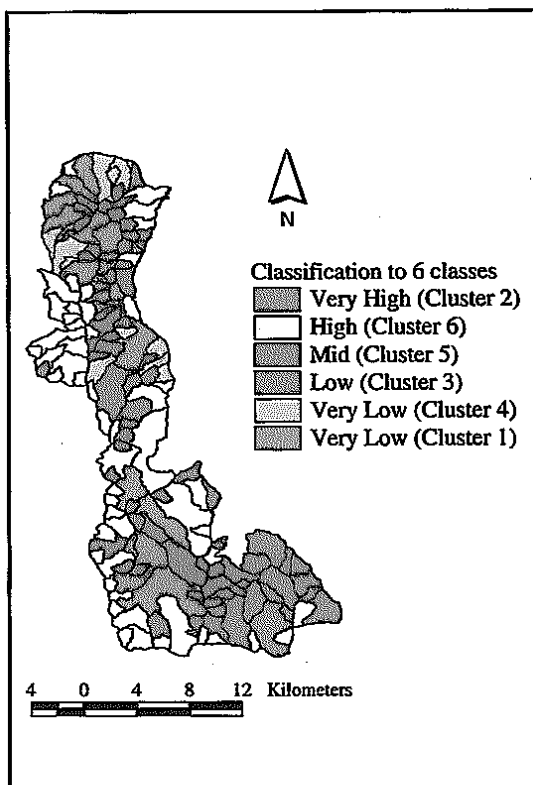


Fig. 4. Final map of forest land classification for water conservation protected forest based on 12 variables.

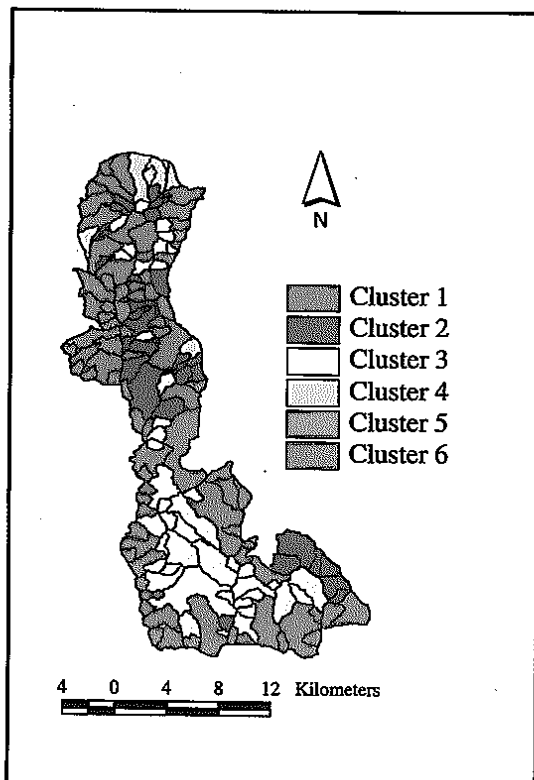


Fig. 5. Map of classifying 158 subwatersheds into 6 clusters based on elevation.

(三)因素分析

經逐步判別分析所選取之八個變數，以主成份法萃取共同因素，經由陡坡測驗決定選取5個因素，以取代原有之變數，其累計解釋變異量為92% (Table 8)，並採用最大變異法，進行因素轉軸，同時重新計算因素負荷量，結果如Table 9。

以下依8種影響變數之因素負荷量表 (Table 9) 分別說明所抽取之5個因素之特性。

因素I：以地形多樣化指標與地形位置為其主要特性。

因素II：以長-坡度指數與潤濕指標為其主

要特性。

因素III：以曲率與剖面曲率為其主要特性。

因素IV：以水份梯度為其主要特性。

因素V：以坡向多樣化指標為其主要特性。

(四)群落分析

利用因素分析所計算之158個集水區在5個因素上的因素得點，取代原影響變數，先進行階層式群落分析，以求得在水源涵養保安林規劃上集水區分類之最適群落組別。

1.階層式群落分析

5個因素得點之CCC分群指標，在第9、8、7、6集群數時，分別為-1.51、-2.08、-2.81、-5.06，區域最高點為第7集群；擬似F值在第9、8、7、6集群數時，分別為28.9、29.4、29.8、28.2，區域最高點為第7集群；擬似 t^2 值，在第9、8、7、6集群數時，分別為8.4、14.1、16.3、17.9，其值在第7集群時突然上升。因此經由三個指標共同判斷，決定最適分類集群數為7個群落 (Table 10)。

2.非階層式群落分析

經由階層式群落分析決定最適分組別後，直接採用k-means演算法將5個因素得點，分為7組群落。Table 11為分類後各群落之特性與其所屬集水區單元表。

經歸納上表各群落之因子得點，可瞭解各群落內集水區之因素特性如下：

群落1之集水區以因素II為其主要特性；

群落2之集水區以因素I為其主要特性，因素II次之；

群落3之集水區以因素I為其主要特性，因素IV次之；

群落4之集水區以因素V為其主要特性；

Table 8. Eigenvalues and cumulative proportion of 8 factors

| Factor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Eigenvalue | 2.30 | 1.73 | 1.49 | 0.96 | 0.89 | 0.36 | 0.16 | 0.07 |
| Difference | 0.57 | 0.23 | 0.53 | 0.06 | 0.53 | 0.19 | 0.09 | |
| Proportion | 0.28 | 0.21 | 0.18 | 0.12 | 0.11 | 0.04 | 0.02 | 0.00 |
| Cumulative | 0.28 | 0.50 | 0.69 | 0.81 | 0.92 | 0.96 | 0.99 | 1.00 |

Table 9. Factor loading of 8 variables

| Variable | Factor I | Factor II | Factor III | FactorIV | Factor V |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Terrain position deversity index | 0.97465 ¹⁾ | 0.05360 | -0.03883 | -0.02689 | 0.03685 |
| Terrain position | 0.96213 ¹⁾ | 0.02653 | 0.06012 | 0.10186 | -0.12755 |
| Length-slope index | -0.00604 | 0.93465 ¹⁾ | -0.17315 | -0.10453 | -0.09457 |
| Wetness index | -0.10122 | -0.88782 ¹⁾ | -0.25521 | -0.22390 | -0.01943 |
| Curvature | 0.00082 | -0.11963 | 0.93368 ¹⁾ | -0.05090 | 0.04506 |
| Profile curvature | -0.02323 | -0.28155 | -0.73859 ¹⁾ | -0.30532 | 0.28209 |
| Moisture Gradient | 0.05285 | 0.04936 | 0.08038 | 0.98066 ¹⁾ | -0.02582 |
| Aspect diversity index | -0.06734 | -0.05013 | -0.08334 | -0.02610 | 0.98393 ¹⁾ |

¹⁾Indicates that the more loading variable,the higher the correlation with factors.

Table 10. The CCC,PST, and PST2 of different numbers of clusters on 5 factor scores

| Cluster | CCC | PSF | PST2 |
|---------|-------|------|------|
| 9 | -1.51 | 28.9 | 8.4 |
| 8 | -2.08 | 29.4 | 14.1 |
| 7 | -2.81 | 29.8 | 16.3 |
| 6 | -5.06 | 28.2 | 17.9 |

Table 11. Result of classifying subwatersheds into 7 clusters and determining characteristics of each cluster

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| 1 | 3 | -0.06413 | -0.97499 | 0.17174 | -0.84990 | 1.37547* |
| 1 | 4 | 1.31814* | -1.42003* | -0.42062 | 1.30843* | 0.71387 |
| 1 | 9 | 0.04238 | -1.28979* | -0.20320 | 0.29652 | 1.13328* |
| 1 | 10 | 0.58577 | -2.07249* | 0.02628 | 0.38638 | 0.67949 |
| 1 | 12 | 1.23021* | -1.50585* | -0.17878 | -0.36421 | 0.73738 |
| 1 | 13 | 0.63157 | -0.59154 | 0.59520 | -0.02939 | 0.59847 |
| 1 | 14 | 0.62243 | -1.97908* | -0.11328 | -0.48565 | 1.54871* |
| 1 | 19 | 0.00319 | -1.70409* | 0.04606 | -0.21940 | 1.18873 |
| 1 | 23 | 0.38007 | -0.57911 | -0.63096 | 0.43128 | 0.28707 |
| 1 | 26 | -0.79325 | -1.69232* | -0.82844 | 1.45687* | 1.02224* |
| 1 | 27 | 1.35096* | -3.12182* | 0.83075 | -0.70475 | -0.86922 |
| 1 | 30 | 0.49724 | -1.90210* | 0.25125 | -0.77455 | 0.44491 |
| 1 | 36 | -0.83153 | -1.32389* | -0.93112 | 1.75007* | 1.69332* |
| 1 | 43 | 1.48773* | -1.15498* | 0.15827 | 0.30639 | -0.18953 |
| 1 | 50 | -0.39784 | -1.07480* | -0.51530 | 0.12400 | 0.30318 |
| 1 | 51 | 0.69446 | -0.96543 | 0.22666 | -0.43047 | 0.23438 |
| 1 | 64 | 1.02675* | -0.37127 | -0.20443 | 0.08668 | 1.53944* |
| 1 | 67 | 0.70061 | -0.87190 | 0.15784 | 0.07496 | 0.02652 |
| 1 | 69 | 0.39048 | -0.84854 | 0.07298 | 0.10089 | 0.18064 |
| 1 | 72 | 0.83813 | -0.90386 | -0.34173 | -0.59156 | 0.24137 |
| 1 | 84 | 1.48796* | -0.79755 | -0.79489 | 0.47570 | 1.04960* |
| 1 | 88 | 1.60198* | -1.03277* | -0.67775 | 0.62231 | 1.50187* |
| 1 | 90 | 0.97832 | -0.98333 | 0.06370 | 0.69392 | 0.86298 |

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 97 | 0.22226 | -1.28834* | -0.38900 | -0.47794 | 0.38279 |
| 1 | 153 | 1.01319* | -0.64629 | -0.00524 | 0.66963 | 0.45708 |
| 2 | 2 | -0.19312 | -1.69401* | -0.51567 | -1.32786* | -0.28623 |
| 2 | 5 | -0.21440 | -2.19240* | 0.12602 | -0.67654 | -0.38477 |
| 2 | 8 | -1.09240* | -1.96964* | -0.25424 | -0.89089 | -1.55629* |
| 2 | 11 | -1.42979* | -0.40558 | 0.12657 | -1.11044* | -1.22126* |
| 2 | 15 | -1.64217* | -1.16154* | 0.20462 | 0.59244 | -1.34029* |
| 2 | 16 | -1.67533* | -0.95321 | 0.08945 | 0.67155 | -0.57616 |
| 2 | 18 | -1.86488* | -0.97638 | -0.59779 | 0.80828 | -1.20137* |
| 2 | 20 | -1.81803* | 0.12450 | 0.22534 | -0.93281 | -0.53854 |
| 2 | 38 | -0.76834 | -1.03938* | -1.23433* | -0.00447 | -0.55884 |
| 2 | 53 | -1.05346* | -0.54236 | -0.77979 | -0.31114 | -0.01677 |
| 2 | 57 | -0.83465 | -0.40761 | -0.54415 | -0.30445 | -0.99308 |
| 2 | 63 | -0.84957 | -1.55490* | -0.47192 | 0.67222 | -0.75038 |
| 2 | 66 | 0.54316 | -2.37077* | -0.46747 | -1.32242* | -1.16888* |
| 2 | 73 | -0.34181 | -1.26867* | -0.64823 | -0.38656 | -0.69407 |
| 2 | 75 | -1.15889* | -0.85289 | -0.02547 | 0.33407 | -1.38742* |
| 2 | 79 | -0.75315 | -0.19865 | -0.01190 | -0.66055 | -1.09091* |
| 2 | 83 | 0.31343 | -0.42430 | -1.30766* | 0.46433 | -0.94222 |
| 3 | 28 | 1.00934* | -0.93782 | 0.95777 | 0.23692 | -0.63897 |
| 3 | 37 | 0.54109 | 0.26144 | 0.18328 | 0.94326 | -0.73915 |
| 3 | 45 | 1.54865* | -0.62689 | -0.48853 | 0.81433 | -0.67515 |
| 3 | 54 | 1.53715* | -0.00168 | -0.11239 | 0.55446 | 0.25979 |
| 3 | 55 | 1.26870* | 0.40358 | -0.02814 | 2.59683* | -0.05557 |
| 3 | 58 | 1.06815* | -0.57587 | 0.67878 | 1.34619* | 0.16566 |
| 3 | 61 | 1.39160* | 0.17466 | -0.66945 | 2.43330* | 0.26455 |
| 3 | 62 | 1.50186* | -0.25659 | 0.20942 | 1.29296* | 0.23416 |
| 3 | 70 | 1.42684* | -0.25113 | 0.05670 | -0.21381 | -0.33991 |
| 3 | 71 | 0.28888 | 0.56645 | 1.54644* | 0.16884 | -1.59115* |
| 3 | 80 | 1.47515* | 0.14324 | -0.82900 | 0.11229 | -0.41826 |
| 3 | 81 | 1.39545* | 0.40998 | 0.27529 | 0.14690 | -0.51666 |
| 3 | 92 | -0.02326 | 0.77509 | 0.75298 | 0.56654 | -0.69084 |
| 3 | 99 | 1.26577* | 1.68709* | 0.68694 | 1.00985* | 0.24973 |
| 3 | 102 | 1.03990* | 1.40317* | -0.29878 | 0.18573 | -0.23240 |
| 3 | 104 | 0.87527 | 0.72272 | 1.49521* | 0.97267 | 0.90757 |

Table 11. Result of classifying subwatersheds into 7 clusters and determining characteristics of each cluster(continued)

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 3 | 108 | 1.13979* | 1.11952* | 0.23092 | 1.19893* | 0.71174 |
| 3 | 109 | 1.07019* | 0.75961 | -0.69944 | 1.59352* | -0.93230 |
| 3 | 116 | 0.83589 | 0.59159 | 1.12227* | 0.17372 | -1.85872* |
| 3 | 117 | 1.08272* | 0.65187 | 1.93834* | 0.33126 | 0.34529 |
| 3 | 119 | 1.54021* | 0.71193 | -1.63317* | 0.43764 | -0.26656 |
| 3 | 131 | 1.20048* | 1.31468* | -0.22018 | 0.25298 | 0.70132 |
| 3 | 138 | 0.61902 | 0.36421 | 1.04049* | 0.65466 | 0.02168 |
| 3 | 143 | 1.59045* | 0.77932 | 0.58635 | 1.12919* | 0.48811 |
| 3 | 148 | 0.11748 | 1.65977* | 0.87237 | 1.54889* | -0.38834 |
| 3 | 154 | 1.46214* | 0.55326 | -0.28237 | -0.19590 | -0.21043 |
| 3 | 155 | 1.19046* | 1.21665* | -2.93603* | 2.06850* | -2.16762* |
| 3 | 157 | 1.02645* | 1.49291* | -0.58252 | 1.62306* | -0.42953 |
| 3 | 158 | 1.51961* | 0.98697 | -1.53596* | 0.87753 | -0.84017 |
| 3 | 159 | 1.12006* | 0.87859 | -1.61191* | -0.06690 | -0.02118 |
| 4 | 40 | 0.00753 | 0.04951 | -0.03017 | -0.82812 | 1.53766* |
| 4 | 46 | -1.52047* | -0.80972 | -1.72028* | -0.15523 | 1.48780* |
| 4 | 47 | -1.28093* | -0.91505 | -0.01321 | -0.54027 | 1.48599* |
| 4 | 49 | 0.94079 | 0.12910 | 0.33414 | -0.99801 | -0.21604 |
| 4 | 52 | 0.88933 | 0.24093 | 0.41223 | -1.04250* | 1.38830* |
| 4 | 56 | -0.09634 | -0.52497 | -0.40799 | -1.33379* | 0.35934 |
| 4 | 60 | -0.09816 | -0.64705 | -0.18431 | -1.33287* | 1.07175* |
| 4 | 68 | -0.61680 | -0.19528 | -0.35506 | -0.62491 | 0.02725 |
| 4 | 78 | -0.24737 | 0.58488 | 0.36341 | -2.14372* | 0.40851 |
| 4 | 85 | 0.13067 | -0.15416 | -0.18988 | -0.62832 | 0.79820 |
| 4 | 86 | -1.34437* | 0.16856 | 0.12742 | -2.09460* | 0.26317 |
| 4 | 87 | 1.05519* | 0.48151 | -0.04381 | -0.88302 | 1.31039* |
| 4 | 93 | 0.73370 | 0.59781 | -0.11698 | -0.53659 | 0.95646 |
| 4 | 95 | -0.08354 | 0.33885 | -0.02823 | -0.53218 | 1.55556* |
| 4 | 98 | 0.20301 | -0.10900 | -0.09652 | -1.00590* | 1.22243* |
| 4 | 101 | -1.10205* | 0.21577 | -0.06417 | -0.79866 | 1.55171* |
| 4 | 106 | -1.74084* | 0.53332 | -0.30174 | -0.58797 | 1.00323* |
| 4 | 107 | 0.10976 | 1.06621* | -0.20718 | 0.10926 | 0.88320 |
| 4 | 110 | -0.97853 | 0.32335 | -0.16520 | -1.17636* | 1.24659* |
| 4 | 111 | 0.20816 | 2.09466* | -1.68745* | -2.80520* | 0.26634 |
| 4 | 112 | 0.22510 | 0.74018 | -0.20544 | -0.84752 | 0.56033 |
| 4 | 115 | -0.87752 | 0.94238 | 0.08008 | -0.88269 | 0.94481 |
| 4 | 120 | 0.52629 | 0.10462 | -0.53527 | -0.23377 | 0.87394 |
| 4 | 123 | 0.70936 | 1.11432* | -0.26090 | -0.35848 | 1.54648* |
| 4 | 125 | -0.36915 | 1.02460* | 0.17210 | -0.17874 | 0.35698 |
| 4 | 128 | -0.79652 | 1.88407* | -0.33985 | -0.61616 | 1.25807* |
| 4 | 129 | -1.16634* | 0.70644 | -0.10570 | -1.16289* | 1.52433* |
| 4 | 132 | -0.91441 | 0.51203 | -0.06417 | -0.43762 | 0.54588 |
| 4 | 140 | 0.19676 | 1.27677* | -0.05300 | -1.18758* | 0.74676 |
| 4 | 141 | 0.24978 | 0.83128 | 0.04214 | -0.90141 | 1.10791* |
| 4 | 144 | 0.52367 | 1.91672* | -0.36121 | -0.84866 | 0.79910 |
| 4 | 145 | -1.38183* | 1.37809* | -0.18568 | -0.63763 | 0.30690 |
| 4 | 146 | 0.48839 | 0.79958 | -0.13736 | -0.52138 | -0.29052 |
| 4 | 147 | 0.27872 | 0.40191 | 0.08999 | -0.55257 | 0.71752 |
| 4 | 149 | -0.19963 | 1.06463* | 0.21098 | -0.74298 | 0.76014 |
| 4 | 150 | -0.28618 | 0.79092 | 0.59124 | -0.11154 | 0.49436 |
| 4 | 152 | 1.03575* | 0.45340 | -0.46641 | -0.36738 | 0.94573 |
| 5 | 32 | 0.61414 | 0.32625 | 3.04541* | -0.99642 | -1.46502* |
| 5 | 114 | 1.01586* | -0.11009 | 8.37700* | -0.94960 | -0.41277 |
| 6 | 6 | 0.28406 | -2.15376* | -0.18470 | -0.85351 | -3.26253* |
| 6 | 7 | 0.66420 | -0.89547 | 0.67842 | -1.36813* | -1.82101* |
| 6 | 42 | 0.42794 | 0.12508 | 0.95005 | -1.62141* | -1.06838* |
| 6 | 74 | 0.57653 | -0.22621 | -0.16735 | -1.42378* | -0.69755 |
| 6 | 76 | 1.38281* | -0.10675 | -0.09673 | -0.03551 | -1.81488* |
| 6 | 77 | 0.44089 | -0.50477 | -0.42955 | -1.38458* | -1.74535* |
| 6 | 94 | 1.33333* | -0.42676 | -0.31932 | -0.90705 | -0.33143 |
| 6 | 96 | 0.96831 | 0.33932 | 0.02859 | -1.21389* | -2.30586* |
| 6 | 118 | -0.34559 | 1.33280* | -1.26699* | -0.63440 | -1.62502* |
| 6 | 121 | -0.25718 | 0.95276 | -0.68723 | -0.39351 | -2.33629* |
| 6 | 122 | 0.13764 | 1.27811* | -2.51211* | -2.50809* | -2.29062* |
| 6 | 130 | -0.11602 | 1.26711* | -0.18555 | -1.46105* | -1.13536* |
| 6 | 136 | -0.72275 | 0.78698 | -0.69134 | -0.08750 | -2.35997* |
| 6 | 137 | 1.12831* | 1.23369* | -1.33253* | -2.20673* | -0.47334 |
| 7 | 17 | -1.80635* | 0.52137 | 1.52336* | -0.26918 | 0.30659 |
| 7 | 21 | -1.61972* | -0.61246 | -0.02071 | 0.78339 | 1.01658* |
| 7 | 22 | -1.55727* | -0.73322 | -0.42168 | 2.26737* | -0.22448 |
| 7 | 24 | -1.28923* | 0.02635 | 0.17794 | -0.44759 | -0.09834 |
| 7 | 25 | -1.23564* | -0.54731 | -0.07367 | -0.02799 | 0.97373 |
| 7 | 29 | -0.89722 | 0.80100 | -0.34292 | -0.00600 | 0.38531 |
| 7 | 31 | -0.76647 | 0.54680 | 1.39896* | 0.45596 | 0.22102 |
| 7 | 33 | -0.26451 | 0.16493 | 0.56612 | 0.40162 | 0.33115 |
| 7 | 34 | -1.63471* | 0.20251 | -0.11651 | 0.72483 | -0.84689 |
| 7 | 35 | -1.24655* | 0.34698 | -0.14861 | 0.88795 | 0.17391 |
| 7 | 39 | -1.23296* | -0.53169 | -0.04099 | 1.16838* | 0.98533 |
| 7 | 41 | -0.61872 | 0.61822 | 0.55047 | 1.34985* | -0.63841 |
| 7 | 44 | -0.88674 | -0.58450 | 0.12457 | 1.80264* | 0.58897 |
| 7 | 48 | -0.70442 | -0.96310 | 0.38529 | 1.32276* | 0.31178 |
| 7 | 59 | -0.82363 | -0.91708 | 0.24523 | 1.22671* | -0.33429 |
| 7 | 65 | -1.25732* | -0.25152 | 1.44716* | 0.64016 | -0.01086 |
| 7 | 82 | -1.20775* | -0.02003 | 0.56187 | 0.40799 | -0.12009 |
| 7 | 89 | -0.93455 | 0.33154 | 0.61309 | 0.56787 | 0.74587 |
| 7 | 91 | -0.01739 | 1.18554* | 0.54414 | 0.56561 | 0.59072 |
| 7 | 100 | -0.58513 | 0.16913 | 0.22781 | 1.10873* | -0.72592 |
| 7 | 103 | -0.79781 | 1.42893* | 0.47500 | 0.46099 | 0.41351 |

Table 11. Result of classifying subwatersheds into 7 clusters and determining characteristics of each cluster(continued)

| Cluster | Watershed | Factor I | Factor II | Factor III | Factor IV | Factor V |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 7 | 105 | -1.01709* | 0.89765 | 0.58147 | 0.25205 | 0.17830 |
| 7 | 113 | -1.33662* | 0.71892 | -1.20754* | 0.84571 | 1.24696* |
| 7 | 124 | -0.64843 | 1.19855* | 0.47110 | 1.41048* | 0.36165 |
| 7 | 126 | -0.25817 | 0.72891 | -0.30126 | 0.77234 | -0.20019 |
| 7 | 127 | -1.22419* | 0.21497 | 0.03992 | -0.24216 | -0.32112 |
| 7 | 133 | -1.00738* | -0.00723 | -0.00954 | -0.05229 | 0.17337 |
| 7 | 134 | -1.38915* | 1.63639* | 0.53718 | -0.03504 | -0.71057 |
| 7 | 135 | -1.66525* | 0.33461 | 0.3599 | 0.65407 | -0.97566 |
| 7 | 139 | -1.43026* | 1.05766* | -0.1262 | 2.75306* | -1.56873* |
| 7 | 142 | -1.21795* | 1.16335* | 0.7915 | 0.52878 | -0.51103 |
| 7 | 151 | -0.76695 | -0.08935 | -0.0352 | 0.80290 | -0.50093 |
| 7 | 156 | -0.90721 | 0.33933 | 0.9351 | 1.22585* | -1.65169* |

群落5之集水區以因素III為其主要特性;

群落6之集水區以因素V為其主要特性，因素IV次之；

群落7之集水區以因素I為其主要特性，因素IV次之；

為進一步了解各群落8個影響變數之性質，因此計算各群落中各影響變數之平均值 (Table 12)，以供做為7個群落在水源涵養保安林規劃上等級描述之輔助。

(五)規劃結果

經由所抽取5個因素特性的描述，配合因素得點判斷7個群落內各集水區之主要或次要因素特性，加上7個群落中8個影響變數之平均值之輔助判斷，將7個群落，依在水源涵養保安林之規劃適宜性分為非常高、高、中、低、非常低5

個等級，其結果如下：

- 群落1之集水區等級為：低；
 - 群落2之集水區等級為：非常低；
 - 群落3之集水區等級為：非常高；
 - 群落4之集水區等級為：高；
 - 群落5之集水區等級為：非常高；
 - 群落6之集水區等級為：高；
 - 群落7之集水區等級為：中；
- Fig. 6為規劃結果。

討論

為了將規劃結果與試區目前經營現況，以及和前人研究相比對，因此以下討論將以林班為範圍來做為對照的單元。

一、12種變數與8種變數比較

整體上來看，二者的規劃結果相當的相似，但仍有所差異，最主要的差異可分為二部份 (Table 13)。

(一)第一個部份位於1-6(溪頭營林區)、16、17、18，九個林班中，二者有顯著的差異。在12種變數6個群落的分析結果中，上述的林班(所屬群落組別為6)，其水源涵養的適宜性規劃為高；在8種變數7個群落在上述的林班中(所屬群落組別為1)，其水源涵養的適宜性規劃為低。二者會有這種差異，其原因在於8種變數其分類結果為7個群落，而在12種變數的分類結果為6個群落，其6個群落中的第6個群落組別，若對照到8種變數7個群落中，可以發現原第6個群落組別在此又被分為二個

Table 12. Mean values of 8 variables on 6 clusters

| Variables | Cluster 1 | Cluster 2 | Cluster 3 | Cluster 4 | Cluster 5 | Cluster 6 | Cluster 7 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Terrain position | 0.30 | 0.14 | 0.42 | 0.19 | 0.45 | 0.32 | 0.13 |
| Wetness index | 0.97 | 1.04 | 0.14 | 0.40 | -0.28 | 0.56 | 0.32 |
| Curvature | 0.00096 | -0.01 | -0.00 | -0.0013 | 0.25 | -0.01 | 0.00 |
| Aspect diversity index | 2.61 | 2.15 | 2.24 | 2.65 | 1.80 | 1.82 | 2.38 |
| Moisture gradient | 6.41 | 6.04 | 7.01 | 5.75 | 6.19 | 5.56 | 6.84 |
| Terrain position diversity index | 5.87 | 4.71 | 6.20 | 5.38 | 5.55 | 5.70 | 4.64 |
| Profile curvature | 0.02 | 0.01 | -0.01 | 0.03 | -0.12 | 0.02 | -0.01 |
| Length-slope index | 1.80 | 2.14 | 3.22 | 3.34 | 2.23 | 3.36 | 2.92 |
| Elevation ¹⁾ | 958.23 | 783.10 | 849.68 | 1651.01 | 1166.93 | 1565.11 | 1386.41 |
| Slope ¹⁾ | 22.06 | 22.34 | 34.94 | 32.65 | 33.04 | 31.09 | 31.46 |
| Plan curvature ¹⁾ | 0.03 | 0.00 | -0.02 | 0.02 | 0.12 | 0.00 | -0.01 |
| Gully index ¹⁾ | -1.72 | -1.87 | -2.28 | -7.81 | -0.69 | -6.32 | -2.60 |

¹⁾Means of variables canceled after stepwise discriminate analysis.

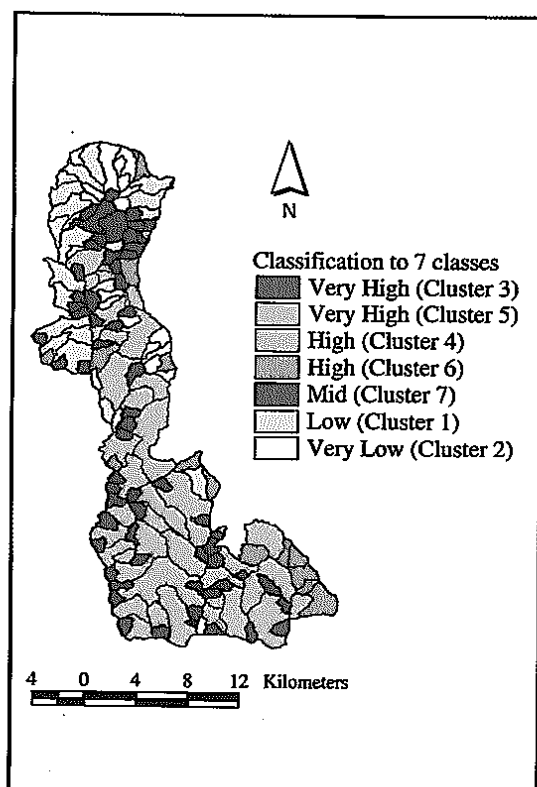


Fig. 6. Final map of forest land classification for water conservation protected forest based on 8 variables.

Table 13. Differences between 12 variables and 8 variables

| Compartment | 12 variables | 8 variables |
|----------------|----------------------------|------------------------|
| 1-6,16,17,18 | High (6) ¹⁾ | Low (1) ¹⁾ |
| 21,26,28,29,31 | Very low (1) ¹⁾ | High (4) ¹⁾ |

¹⁾Indicates clusters numbers after cluster analysis.

群落，其群落組別分別為1(適宜性為低)與3(適宜性為高)。另外一點要注意的是，屬於第1個群落的集水區在8種變數的規劃結果，除了在上述的9個林班中與12種變數的規劃結果不一樣外，其它屬第1群落但位於7、8、13林班中之集水區的適宜性，與12種變數中之7、8、13林班則具有相似的適宜性(低與非常低)。這証明了12種變數之6種群落的規劃結果，受到某些變數的影響，而無法細分出各集水區之水源涵養能力。

(二)第二個部份位於21、26林班與位於28、29、

31等林班交界處的集水區。在這些林班中的集水區，12種變數規劃所得之適宜性為非常低(所屬群落組別為1)，但在8種變數的規劃結果中，其適宜性為高(所屬群落組別為4)。造成這種差異的原因，可以從比較12種變數其規劃結果適宜性為非常低的集水區所在的林班位置，與8種變數中相同林班內的集水區適宜性來探討。在12種變數規劃結果中，適宜性為非常低的集水區主要分佈在上述的5個林班以及7、8、13、9、10、11等6個林班中。而相對在8個變數規劃結果中，二者的差異除了前述林班之外(21、26、28、29、31)，在7、8、13林班中的集水區其適宜性為低(群落組別為1)，在9、10、11林班中集水區其適宜性為中(群落組別為7)。由此可發現，12種變數中群落1所屬集水區，在8種變數中被細分為低、中、高3種群落，可知此種差異與前述所提第一部分差異的發生原因是一樣的，皆源自於12種變數6種群落的規劃結果因受到某些變數的影響，而無法細分出各集水區之水源涵養能力。

針對12種變數與8種變數規劃結果比較，吾人認為規劃結果的差異並非規劃作業上的失誤，只是因規劃過程中所使用的分析方法不同而導致此類差異的發生。吾人反而可經由比較二種規劃結果的不同點，可突顯出在規劃過程中經由統計模式來選擇變數，其規劃的結果更能將各集水區對於水源涵養的能力細分到不同的群落上，因而提高了規劃結果的準確性。

二、規劃結果與經營現況以及前人研究結果比較

由前面的12種變數與8種變數的比較結果，可知經由統計模式事先選取重要變數，不僅可節省分析時間，同時可提升規劃結果的準確性，但此種準確性相對於12種變數之規劃結果，只是一種相對性的，其與實際的經營情況以及與前人研究比較如下：

(一)依台大實驗林經營計劃(1989)指出台大實驗

林第32-43林班，為土砂攔止保安林，其與本研究規劃結果比較，在12種變數之規劃結果中，此區域之其適宜性多分類為非常高與高，但在32、38林班處則不一樣(適宜性為低)。而在8種變數之規劃結果中，此區域之適宜性，則完全規劃為高與非常高。因此整體上來看，在比較32-41林班情形下，經由統計模式選取8個變數之規劃結果，是比較符合目前經營現況。

(二)郭傳鎮(1994)採用四種變數，以Mashimo模式以及多變值統計分析之規劃結果指出，台大實驗林第25、26、28、29、33、34、35、36、37、38、41、42等12個林班，為台大實驗林水源涵養保安林之最適地點。其與本研究規劃結果比較，在12種變數之規劃結果中，此區域之其適宜性多分類為非常高與高，但在26林班與位於28、29、31等林班交界處適宜性為非常低，在38林班處適宜性為低。而在8種變數之規劃結果中，此區域之適宜性，則完全規劃為高與非常高。而對於實驗林其它區域，則本研究規劃結果與郭傳鎮(1994)規劃結果則因有顯著差異，而無法比較。不過造成差異的原因，可能是二者在規劃過程中所用的變數不同，以及統計分析方法不同所導致。但整體上來看，在上述12個林班中，經由統計模式選取8個變數之規劃結果，是比較符合郭傳鎮(1994)規劃結果。

由前述的討論與比較，可以發現，在分析之前，若能將所收集之變數先經由統計模式予以篩選，不僅可節省資料量與分析時間，最重要的是可以提昇規劃的準確性。

結論

一、由於林業經營之特殊性，林地分類上除了須顧及本身經營的目的與原則之外，尚須考慮社會的反應與需求。尤其在今天生態意識高漲下，一個合乎經營目的，並且能讓社會大眾認同之林地分類是有必要的。而Ian L. McHarg生態規劃方

法至為強調使用型態必須遵循自然作用，其適宜性分析係自然環境對土地使用的發展潛力和發展限制之組合，亦即考慮到容受力觀念。雖然在應用上有疊圖與變數界定上問題，但在本研究中，經由以統計分析來改善其缺點，證明本分類系統仍屬可行，比起其他方法是較適用於生態系經營之林地分類。

- 二、在以生態系為經營基礎之林地分類的作業方法上，由於分析資料多來自生物性或物理性調查，其在生態層級或地理層級上彼此都具有關聯性，一調查變數往往與其他變數綜合交感(interact)，多變值統計分析具有能同時解決因素相依、空間相依、以及權重給分的問題，加上其精確性高，近來土地適宜性評估方法，多採用此法進行數值分類方式的土地分類。而林地分類在所需之資料性質複雜情況下，採用多變值統計分析將可改善有關林地分類作業方法之資料分析方式。
- 三、在本研究中地理資訊系統能有效應用於林地分類的自動化，其對於在資源發展、保育、經營管理等，提供了在評估與管理問題上主要的解決工具。
- 四、本文改進前人之研究，以12種變數應用於水源涵養保安林上的規劃，並經由統計模式選取分析變數，其規劃結果，不論是比較目前的經營現況或前人研究結果，其在規劃結果的準確性上都有相當的改進。因此本研究方法不僅可做為水源涵養保安林上的規劃，同時亦可應用於其他經營目的上的林地分類。

引用文獻

- 郭傳鎮。1994。地理資訊系統在水源涵養保安林規劃上之研究。國立台灣大學森林研究所碩士論文。86頁。
- 陳永寬、鄭祈全、郭傳鎮。1993。台大實驗林水源涵養保安林規劃探討。台大實驗林研究報告 7(2): 105-116。

- 陳正昌、程炳林。1984。SPSS、SAS、BMDP 統計軟體在多變量統計上的應用。五南圖書出版公司。213 頁。
- 國立台灣大學農學院實驗林管理處。1989。國立台灣大學農學院實驗林經營計劃。83 頁。
- 黃書禮。1988。淡水河流域土地使用規劃與河川水質管理之研究 -- 土地分類之應用與土地管理策略之研擬。國立中興大學都市計劃研究所報告。195 頁。
- 張建邦。1993。應用多變值統計分析。文富出版社。123 頁。
- 楊榮啓、林文亮。1991。森林多元化資源調查及多目標經營計劃。森林資源與經濟論文集。32-44 頁。
- 鄭祈全。1995。地理資訊系統在林地分級上之應用。林業試驗所研究報告季刊 10(2): 241-254。
- 賴晃宇、鄭祈全、陳永寬。1997。數值地形模型應用於地理資訊系統之建立。台大實驗林研究報告 11(2): 15-54。
- Burt, T. P., and D. P. Butcher.** 1986. Development of topographic indices for use in semidistributed hillslope runoff models. Pages 1-19 in O. Slaymaker and D. Balteanu, eds. *Geomorphology and land management*. Genrunder Borntrager, Berlin.
- Hirsch, A., C. T. Cushwa, K. W. Flach, and W. E. Frayer.** 1978. Land classification -- where do we go from here? *J. of Forestry* 76: 672-673.
- Jones, J. A. A.** 1986. Some limitation to the a/s index for predicting basin-wide patterns of soil water drainage. *Z. Geomorph.* N. F. 60: 7-20.
- Mashimo, Y., and K. Arimitsu.** 1981. A site classification for forest land-use in Japan. XVII IUFRO World Congress, Tokyo, Division I. pp. 103-116.
- Milligan, G. W., and M. C. Cooper.** 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika* 50: 159-179.
- Monk, C. D., and Day F. P., Jr.** 1985. Vegetation analysis, primary production and selected nutrient budgets for a southern appalachian Oak forest: a synthesis of IBP studies at coveeta. *Forest Ecology and Management* 10: 87-113.
- Moore, I. D., and G. J. Burch.** 1986. Physical basis of length - slope factor in universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1294-1298.
- Moore, I. D., G. J. Burch, and D. H. Mackenzie.** 1988. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.* 31: 1098-1107.
- Moore, I. D., and J. L. Nieber.** 1989. Landscape assessment of soil erosion and nonpoint source pollution. *J. Minnesota Acad. Sci.* 55: 18-25.
- Moore, I. D., A. K. Turner, J. P. Wilson, S. K. Jenson, and L. E. Band.** 1993. GIS and landsurface--subsurface process modeling. In M. F. Goodchild, B. O. Parks, L. T. Steyaert ed *Environmental modeling with GIS*. Oxford Univ. Press, New York, N.Y.
- Nelson, D., G. A. Harris, and T. E. Hamilton.** 1978. Land and resource classification - Who cares? *J. of Forestry*. 76(10): 644-646.
- Odum, E. P.** 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- Rikhari, H. C., R. Chandra, and S. P. Singh.** 1989. Pattern of species distribution and community characters along a moisture gradient within an Oak zone of Kumaun Himalaya India. *Proceeding Indian National Science Academic, Part B Biological*

- Science. 55(5-6): 431-438.
- Rowe, J. S., and J. W. Sheard.** 1981. Ecological land classification: a survey approach. *Environmental Management* 5(5): 451-464.
- Speights, J. G.** 1980. The role of topography in controlling throughflow generation: a discussion. *Earth Surface Process and Landform* 5: 187-191.
- Thorne, C. R., L. W. Zevenbergen, F. H. Grissinger, and J. B. Murphey.** 1986. Ephemeral gullies as source of sediment. Proc. Fourth Federal Interagency Sed. Conf., Las Vegas, Nevada, March 24-27. 3: 153-161.
- Vetass, O. R.** 1993. Spatial and temporal vegetation changes along moisture gradient in northeastern Sudan. *Biotropica* 25(2): 164-175.
- Whittaker, R. H.** 1960. Vegetation of the mountains of Oregon and California. *Ecological Monographs* 30: 3.
- Whittaker, R. H.** 1965. Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.* 42: 207-254.
- Zaslavsky, D., and G. Sinai.** 1981. Surface hydrology: I.-Explanation of phenomena. *J. of Hydraul. Div., Proc. Am. Soc. Civil Engrs.* 107: 1-16.