

# 应用数值地形模型萃取上游森林集水区 河川网路之研究

廖学诚 黄琼<sup>王彪</sup> 漆升忠  
(台湾林业试验所集水区经营系 台湾)

**摘 要** 应用数值地形模型萃取河川网路时,面积门槛值常会影响到河川网路萃取结果,改变河川网路密度。本文旨在探讨不同的面积门槛值对上游陡坡森林集水区河川网路萃取之影响,以台湾南部中寮溪及扇平溪集水区为研究对象。结果显示,河流级序、支数及长度均随面积门槛值增加而减少,河溪数目比、河溪长度比及河溪面积比与面积门槛值无明确趋势可循,变动范围较大。排水密度与河川频率则随面积门槛值增加而减少,成幂函数关系递减,其相关判定系数( $R^2$ )介于 0.96 ~ 0.99。经由现场调查与萃取出之河川网路相互比对照,建议以 12.8 hm<sup>2</sup> 左右作为研究区域内丰水期时河川网路萃取之面积门槛值,但在枯水期时,则以 25.6 hm<sup>2</sup> 左右作为河川网路萃取之面积门槛值。

**关键词** 面积门槛值 河溪长度比 河溪面积比

## A Study of the Extraction of Channel Networks from Digital Terrain Model in Upstream Forested Watersheds

Shyue-Cherng Liaw Chiung-Piau Huang Shen-Chung Chi  
(Division of Watershed Management of Taiwan Forestry Research Institute Taiwan)

**Abstract** When extracting stream networks from a digital terrain model (DTM), the threshold area is used to determine the density of stream networks, and it is an important factor that it often has great influence on the results. It evaluates the effects of different threshold areas on the extraction of stream networks in upstream forested watersheds. The Chung-liao stream and Shan-ping stream watersheds are chosen as the study areas. Results reveal that the stream order, stream number, and stream length decrease as the threshold area increases. These ratios of stream number, stream length, and stream area vary in wide range, which have not clear relationship with the threshold area. In addition, the stream density and stream frequency decrease as the threshold area increases based on the power function, and the coefficients of determination were between 0.96 and 0.99. Through field investigation, it was suggested to use around 12.8 hm<sup>2</sup> as the threshold area to extract channel networks from DTM in study areas during wet season. However, the threshold area 25.6 hm<sup>2</sup>, was suggested for dry season.

**Key words** threshold area ratio of stream length ratio of stream area

# 1 前言

数值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)是由一连串已知其 $xyz$ 坐标的点所组合而成,可表示连续地表特性,提供地形分析与评估之用。近年来,数值地形模型发展快速,并普遍应用于工程、农业、地理及自然资源上,尤其对河川网路萃取助益甚多。以往河川网路概由地形图中测得,但常随不同人员量测而得不同结果,故若非经过专业训练,河川网路区划实不易也。目前透过数值地形模型,河川网路区划比以前传统人工测绘方式较为客观,尤其地理资讯系统与数值地形模型结合应用后,河川网路区划已是容易许多。河川网路对集水区地形分析甚为重要,举凡集水区排水密度、河川频率及流域细长比(Elongation ratio)等,均与此密切相关,另河川网路亦会影响集水区水文特性如洪峰到达时间及洪峰流量等。

应用数值地形模型萃取河川网路时,需选定面积门槛值(Threshold area),任意点之排水汇集面积(Flow accumulation area)若大于此面积门槛值,即被视为河川。面积门槛值大小常是影响河川网路萃取之关键所在,当面积门槛值较小时,河川网路将较密集,反之,河川网路则将较为疏松。自从数值地形模型应用于水文学后,已有许多报告探讨不同面积门槛值对大面积集水区河川网路及地文参数之影响(郑,1993;李 & 江,1997; Tarboton et al., 1991; Cost-Cabral & Burges, 1994; Ros & Borga, 1997),但对小面积陡坡森林集水区则较少研究(陈信雄等,1997),故本文选取台湾南部两上游干湿季分明之森林集水区,探讨不同面积门槛值对其河川网路及地文参数如河溪数目比、河溪长度比、河溪面积比、排水密度及河川频率等之影响,并经由野外实地调查,探讨在干湿季时何种面积门槛值所萃取出之河川网路与现场较吻合。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究区域简介

本研究区域为台湾南部中寮溪及扇平溪两上游森林集水区(图1),面积分别为759及562  $\text{hm}^2$ ,海拔高分别介于480~1 890 m及480~1 690 m间,平均坡度分别为60%及59%,目前为台湾林业试验所经营管理。境内有凤岗山及扇平两气象站,年降雨量分别为2 188.4 mm及3 169.2 mm,降雨主要集中在4~9月,占全年降雨量87.9%及92.5%,干湿季分明(林试所,1998)。境内植生主要为阔叶乔木林,树种有五掌楠(*Neolitsea konishii*)、山黄皮(*Murraya euchrestifolia* Hayata)、樟树(*Cinnamoum camphora*)、台湾栲(*Castanopsis formosana*)。琼楠(*Beilschmiedia erythrophloia* Hayata)及台湾桫欏(*Eurya hayatai* Yamamoto)等(王相华,1991)。地质属庐山层,由黑色到深灰色的硬页岩、板岩及千枚岩和深灰色的硬砂岩所组成,土壤为低盐基淡色弱育土,土层浅薄,因崩积作用后再化育而来,故通常可以在剖面中发现多量角块状碎石屑(林试所,1997)。

### 2.2 数值地形模型

本研究数值地形模型于1986年由农林航测所制作,航照比例1:34 000,网格大小为40 m。数值地形模型常会发生洼地(depression)现象,也就是某一网格其高度比其周边网格高度较低,致使水流无法排出,造成河川中断现象。本研究在应用数值地形模型前,已先透过地理资讯系统ARC/INFO,将洼地部分予以处理。河川网路萃取、河流支数、长度及小集水区面积等亦应用地理资讯系统ARC/INFO进行分析。

## 2.3 地文参数计算

Horton (1945) 是早期研究地貌对河川网路特性之影响的先驱之一, 其提出荷顿准则 (Horton's laws), 将河川网路特性量化, 以地文参数 (Geomorphic parameters) 表示之, 对研究集水区地形特性助益颇多, 后经 Schumm (1956) 增补后, 更臻完善。为了解面积门槛值对河川网路萃取及地文参数之影响, 本研究设定 10 种不同面积门槛值进行分析, 数值地形模型网格数目由 20, 40, 60, ..... 至 200 个, 其面积分别为 3.2, 6.4, 9.6, 12.8, 16.0, 19.2, 22.4, 25.6, 28.8 及 32.0  $\text{hm}^2$ 。河川级序采用 Strahler (1952) 方法定之, 另以荷顿准则中之部分地文参数, 作为河川网路分析依据, 计算方式如下:

河溪数目比 (Ratio of stream numbers)  $R_B = N_W / N_{W+1}$  (1)

河溪长度比 (Ratio of stream lengths)  $R_L = L_W / L_{W-1}$  (2)

河溪面积比 (Ratio of stream areas)  $R_A = A_W / A_{W-1}$  (3)

排水密度 (Drainage density)  $D = L/A$  (4)

河川频率 (Stream frequency)  $F = N/A$  (5)

式中:  $R_B$ ——河溪数目比;  $R_L$ ——河溪长度比;  $R_A$ ——河溪面积比;  $N_W$ —— $W$  级河之数目;  $L_W$ —— $W$  级河之平均长度;  $A_W$ —— $W$  级河之平均面积;  $N$ ——河川之全部数目;  $L$ ——河川之全部长度;  $A$ ——集水区面积。

## 3 结果与讨论

### 3.1 河流级序、支数及长度

利用 10 种不同面积门槛值, 由数值地形模型中所萃取出之河川网路如图 2 所示, 而河川网路分析则如表 1 所列。研究中, 河流级序随面积门槛值增加而减少, 中寮溪集水区由三级河序递减为二级河序, 扇平溪集水区则由四级河序逐渐递减为二级河系, 另河流支数及河流全长亦随面积门槛值增加而减少, 中寮溪集水区河流支数由 83 条递减为 5 条, 河流全长亦由 26.63 km 递减为 7.55 km, 扇平溪集水区河流支数则由 63 条递减为 5 条, 河流全长则由 21.02 km 递减为 5.57 km, 此乃由于面积门槛值增加时, 符合河川网路标准的网格减少, 故当面积门槛值越大时, 所萃取出之河川级数、支数及长度等将会越小。

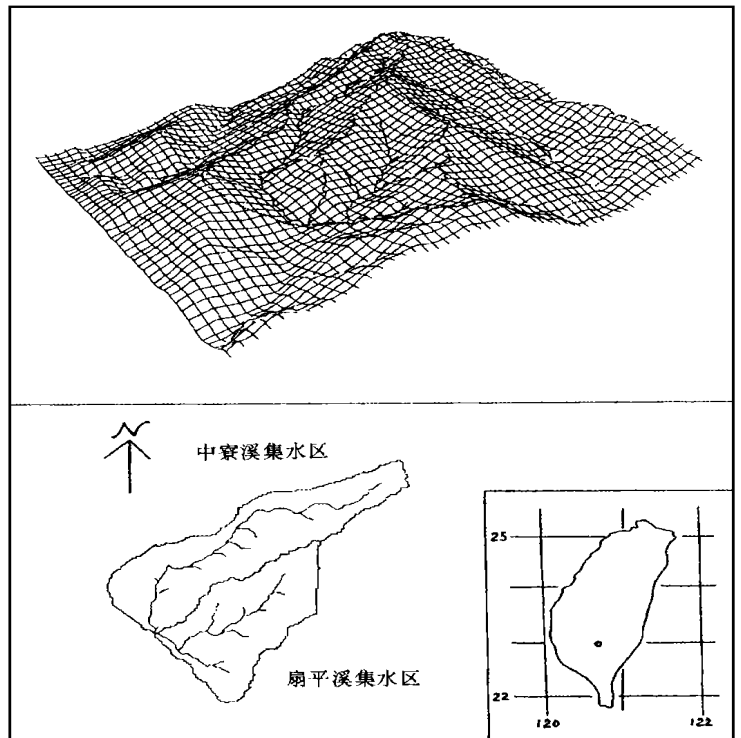


图1 研究区域概示图

3. 2 河溪数目比、河溪长度比、河溪面积比

中寮溪集水区  $R_B$  值介于 4. 00~11. 00 间,  $R_L$  值介于 3. 39~11. 11 间,  $R_A$  值介于 2. 39 ( ~17. 29 间; 扇平溪集水区  $R_B$  值则介于 3. 27~5. 50 间,  $R_L$  值介于 1. 59~3. 16 间,  $R_A$  值介于 0. 87~4. 23 间。由于中寮溪集水区为长条状, 扇平溪集水区则较四方, 其河川网路形态明显不同( 图 2), 当面积门槛值增加时, 中寮溪集水区的  $R_B$ 、 $R_L$  及  $R_A$  值乃变动剧烈, 而扇平溪集水区则较和缓( 图 3)。此外,  $R_B$ 、 $R_L$  及  $R_A$  与面积门槛值大小无固定规则可循, 随面积门槛值增加而变动。

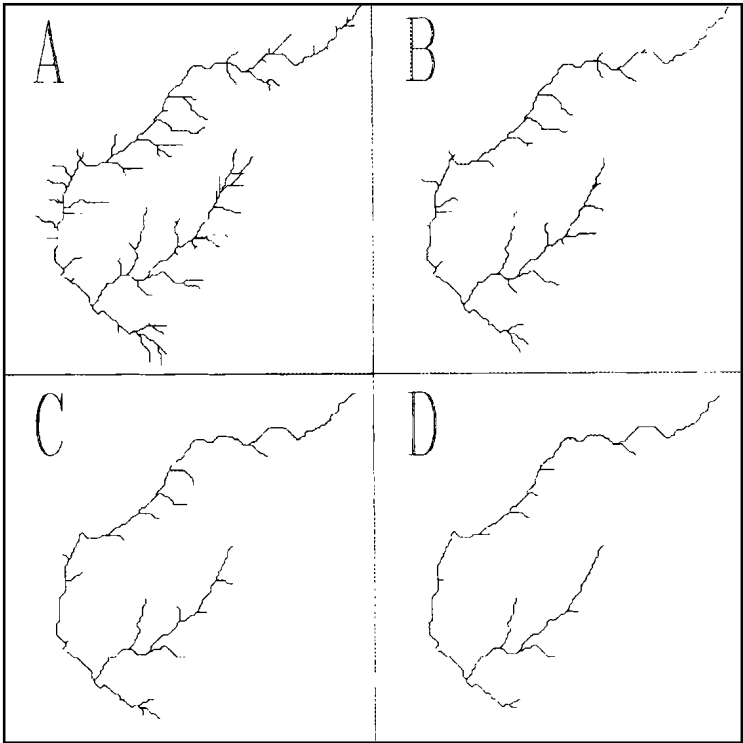


图 2 不同门槛值萃取出之中寮溪及扇平溪集水区河川网路图  
( A: 6. 4 hm<sup>2</sup>, B: 12. 8 hm<sup>2</sup>, C: 19. 2 hm<sup>2</sup>, D: 25. 6 hm<sup>2</sup>)

一般而言, 天然集水区河溪数目比  $R_B$  应介于 3~5 间, 河溪长度比  $R_L$  应介于 1. 5~3. 5 间, 而河溪面积比  $R_A$  应介于 3~6 间( Smart, 1972; Rodriguez-Iturbe, et al., 1979; Bras, 1990), Mc-Cuen( 1989) 则指出, 河溪数目比应介于 2~4 间。就中寮溪集

表 1 中寮溪及扇平溪集水区河川网路分析表

| 集水区                        | 门槛值<br>(hm <sup>2</sup> ) | 河流<br>级序 | 河流<br>支数 | $R_B$  | $R_L$  | $R_A$  | 河流全长<br>(km) | 排水密度<br>(km/km <sup>2</sup> ) | 河川频率<br>(条/km <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|---------------------------|----------|----------|--------|--------|--------|--------------|-------------------------------|------------------------------|
| 中寮溪<br>集<br>水<br>区         | 3. 2                      | 3        | 83       | 10. 41 | 10. 36 | 17. 29 | 26. 63       | 3. 51                         | 10. 93                       |
|                            | 6. 4                      | 3        | 43       | 6. 00  | 5. 80  | 14. 76 | 17. 55       | 2. 31                         | 5. 66                        |
|                            | 9. 6                      | 3        | 27       | 5. 33  | 3. 93  | 2. 82  | 13. 59       | 1. 79                         | 3. 56                        |
|                            | 12. 8                     | 3        | 22       | 5. 75  | 3. 39  | 2. 39  | 11. 72       | 1. 54                         | 2. 90                        |
|                            | 16. 0                     | 3        | 12       | 11. 00 | 10. 02 | 8. 63  | 10. 71       | 1. 41                         | 1. 58                        |
|                            | 19. 2                     | 2        | 10       | 9. 00  | 10. 22 | 8. 57  | 9. 60        | 1. 26                         | 1. 32                        |
|                            | 22. 4                     | 2        | 8        | 7. 00  | 9. 64  | 8. 23  | 8. 82        | 1. 16                         | 1. 05                        |
|                            | 25. 6                     | 2        | 8        | 7. 00  | 11. 11 | 8. 23  | 8. 31        | 1. 09                         | 1. 05                        |
|                            | 28. 8                     | 2        | 6        | 5. 00  | 9. 46  | 7. 86  | 7. 80        | 1. 03                         | 0. 79                        |
| 扇<br>平<br>溪<br>集<br>水<br>区 | 32. 0                     | 2        | 5        | 4. 00  | 8. 37  | 7. 47  | 7. 55        | 0. 99                         | 0. 66                        |
|                            | 3. 2                      | 4        | 63       | 4. 00  | 2. 19  | 2. 52  | 21. 02       | 3. 74                         | 11. 20                       |
|                            | 6. 4                      | 4        | 41       | 3. 27  | 2. 71  | 4. 23  | 13. 73       | 2. 44                         | 7. 29                        |
|                            | 9. 6                      | 3        | 24       | 4. 38  | 3. 16  | 2. 23  | 10. 53       | 1. 87                         | 4. 27                        |
|                            | 12. 8                     | 3        | 15       | 4. 00  | 2. 52  | 1. 81  | 9. 23        | 1. 64                         | 2. 67                        |
|                            | 16. 0                     | 3        | 14       | 3. 75  | 2. 79  | 1. 86  | 8. 33        | 1. 48                         | 2. 49                        |
|                            | 19. 2                     | 3        | 12       | 5. 50  | 2. 48  | 1. 32  | 7. 54        | 1. 34                         | 2. 13                        |
|                            | 22. 4                     | 3        | 11       | 5. 00  | 2. 44  | 1. 19  | 7. 12        | 1. 27                         | 1. 96                        |
|                            | 25. 6                     | 3        | 9        | 4. 00  | 1. 59  | 0. 91  | 6. 63        | 1. 18                         | 1. 60                        |
|                            | 28. 8                     | 3        | 9        | 4. 00  | 1. 71  | 0. 91  | 6. 37        | 1. 13                         | 1. 60                        |
|                            | 32. 0                     | 2        | 5        | 4. 00  | 1. 71  | 0. 87  | 5. 57        | 0. 99                         | 0. 89                        |

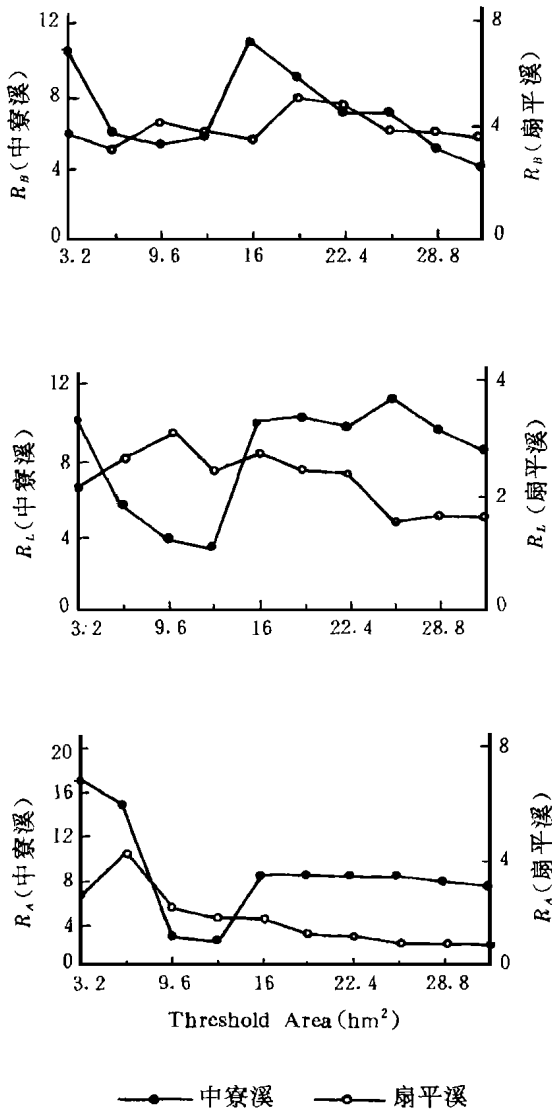


图3 面积门槛值对  $R_B$ 、 $R_L$ 、 $R_A$  之影响

水区而言,当面积门槛值为 9.6 及 12.8  $\text{hm}^2$  时所萃取之河川网路,其  $R_B$ 、 $R_L$  及  $R_A$  值较符合上述范围,其余面积门槛值有偏高现象;至于扇平溪集水区的  $R_B$  及  $R_L$  值,在任何面积门槛值下尚符合上述范围,但  $R_A$  值除面积门槛值为 6.4  $\text{hm}^2$  外,其余均明显偏低。

由于研究区域面积较小、坡度又陡,  $R_B$ 、 $R_L$  及  $R_A$  明显地受面积门槛值所影响,与福山一、二号集水区 (38  $\text{hm}^2$  及 94  $\text{hm}^2$ ) 相似(陈信雄等, 1997),因此,若由上述  $R_B$ 、 $R_L$  及  $R_A$  的合理范围来决定适当门槛值,则有待商榷。

### 3.3 排水密度及河川频率

中寮溪及扇平溪集水区的排水密度及河川频率均随面积门槛值之增加而减少,中寮溪集水区的排水密度由 3.51  $\text{km}/\text{km}^2$  递减至 0.99  $\text{km}/\text{km}^2$ ,河川频率则由 10.93 条/ $\text{km}^2$  递减至 0.66 条/ $\text{km}^2$ ;扇平溪集水区的排水密度则由 3.74  $\text{km}/\text{km}^2$  递减至 0.99  $\text{km}/\text{km}^2$ ,河川频率则由 11.20 递减至 0.89 条/ $\text{km}^2$ (表 1)。由于面积门槛值越大时,萃取出之河川长度及支数会越小,故排水密度及河川频率随之递减。本研究通过回归分析得知,中寮溪及扇平溪的排水密度及河川频率与面积门槛值成幂关系递减(图 4),其相关判定系数 ( $R^2$ ) 高达 0.96~0.99。

### 3.4 适当面积门槛值

不同面积门槛值对河川网路萃取及地文参数之影响已如上述,但何种面积门槛值较为适当,一般而言,将萃取出之河川网路与地形图上蓝色水系做一比较,若相接近,则考虑此萃取面

积门槛值为适当值(Montgomery & Foufoula-Georgiou, 1993; Elbadaway, 1995),此法虽快速便捷,但需注意用来判释的地形图比例大小。Leopold(1994)曾指出,实际水系常比地形图上水系较多且密,主要是地图比例问题,例如 1:24 000 地形图上之二级河序集水区,其实际河序可能高于二级河序,因此,若据此用来判释萃取出之河川网路将有所偏差。

研究区域内目前尚无较精细之地形图可供比较,在现有 1:10 000 地形图上,中寮溪及扇平溪集水区分分别为二级及一级河序。由于研究区域内植生密布,雨量充沛,其河川网路应较绵密复杂。本研究自 1998 年 8 月至 1999 年 2 月止(含丰水期及枯水期),沿中寮溪北侧及扇平溪南侧流域进行 6 次现场调查后得知,此二集水区河系比 1:10 000 地形图上之河系较密且长,在丰水期时,中寮溪为三级河系,扇平溪亦为三级河系,但在枯水期时,中寮溪则为二级河系,扇平溪仍为三级河系,此与集水区形状密切相关。若与数值地形模型中所萃取出之河川网路相互对比,在丰

水期时,则以面积门槛值  $12.8 \text{ hm}^2$  左右所萃取之河川网路现场较吻合,但在枯水期时,则以面积门槛值  $25.6 \text{ hm}^2$  左右所萃取出之河川网路为佳。枯水期时之河川可视为常流河(Perennial Stream),丰水期时比枯水期时多出之部分河川可视为间歇溪(Intermittent stream),共长  $3.41 \text{ km}$ (中寮溪)及  $2.60 \text{ km}$ (扇平溪),由于研究区域内干湿季差异大,河川网系变化明显。至于较小面积门槛值所萃取出之额外支流,则应以谷系称之为宜。

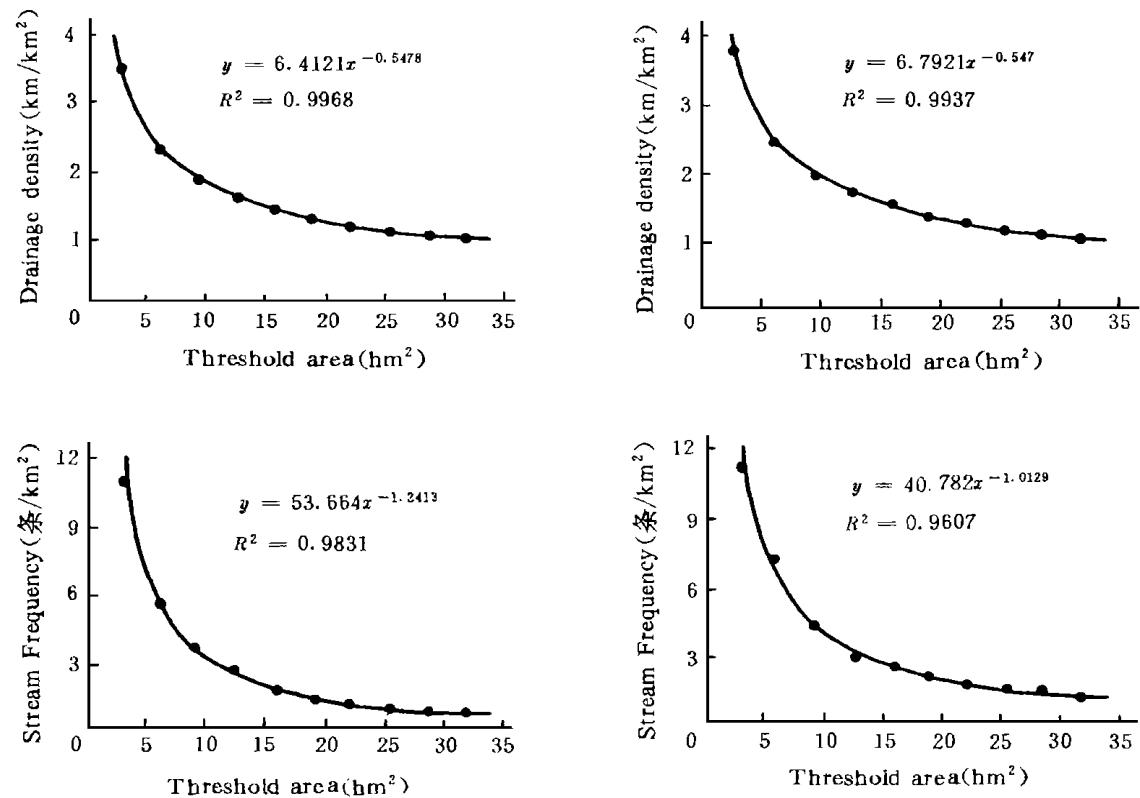


图4 面积门槛值对排水密度及河川密度影响(左:中寮溪,右:扇平溪)

## 4 结论

应用数值地形模型萃取河川网路虽是快速便捷,但不同的面积门槛值将产生不同的河川网路,并衍生不同的地文参数,故深入探讨面积门槛值大小对河川网路萃取之影响有其必要。此外,在干湿季分明地区,河川网系随丰水期及枯水期之不同而略有差异,故何种面积门槛值所萃取出之河川网路与现场较接近,亦值得探讨。综观全文,结论如下:

(1) 中寮溪及扇平溪集水区的河流级序、支数及长度,均随面积门槛值之增加而减少。 $R_B$ 、 $R_L$ 及 $R_A$ 随面积门槛值而变化,但无明确趋势可循,中寮溪变动较为剧烈,扇平溪则较和缓。排水密度与河川频率则随面积门槛值增加而减少,并成幂关系递减,其 $R^2$ 高达  $0.96 \sim 0.99$ 。

(2) 经由现场调查得知,中寮溪及扇平溪河川网路随丰水期及枯水期而有所不同。在丰水期时,建议以面积门槛值  $12.8 \text{ hm}^2$  左右萃取研究区域之河川网路,但在枯水期时,则以面积门槛值  $25.6 \text{ hm}^2$  左右为佳。此结果可应用于邻近相似自然条件地区,研究河川网路及水文特性之参考。

**致谢:** 感谢林试所郑祈全博士提供研究设备, 詹进发博士对 ARC/INFO 操作提供诸多建议, 使本文得以顺利完成, 在此致上最高谢意。

## 参考文献

- 1 王相华. 扇平及南凤山地区之植群分类及分布序列. 林业试验所研究报告季刊, 1991, 6(2): 185 ~ 201
- 2 李光敦, 江申. 面积门槛值对集水区地文参数与水文模拟之影响. “中华水土保持学报”, 1997, 28(1): 21 ~ 32
- 3 林试所. 台湾森林土壤调查报告(二) 林业试验所—六龟试验林. 林试所, 1997, 150
- 4 林试所. 林业试验所六龟分所气象资料. 1998, 517
- 5 陈信雄, 廖学诚, 詹进发等. 利用数值地形模型萃取陡坡小集水区河川网路之研究. 台大实验林研究报告 1997, 11(3): 41 ~ 52
- 6 郑祈全. 数值地形资料应用于集水区区划和河川网路之研究. 林业试验所研究报告季刊, 1993, 8(4): 331 ~ 343
- 7 Bras, R. L., Hydrology—An Introduction to Hydrologic Science. Addison-Wesley Publishing Company. 1990
- 8 Costa-Cabral, M. C., and S. J. Burges, Digital Elevation Model Networks (DEM ON): A model of Flow over Hillslopes for Computation of Contributing and Dispersal Areas. Water Resources Research. 1994, 30(6): 1681 ~ 1692
- 9 Elbadaway, O., Use of GIS to Assess Hydrologic Similarity. Colorado State University, Thesis. 1995
- 10 Horton, R. E., Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Geol. Soc. Am. Bull. 1955, 56: 275 ~ 370
- 11 Leopold, L. B., A View of the River. President and Fellows of Harvard College, USA. 1994
- 12 McCuen, R. H., Hydrologic Analysis and Design. Prentice-Hall Inc.
- 13 Montgomery, D. R. and Foufoula-Georgiou (1993). Channel Networks Source Representation Using Digital elevation models. Water Resources Research. 1989, 29(12): 3925-3934
- 14 Rodriguez-Iturbe, I. and J. B. Valdes The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. Water Resources Research. 1979, 15(6): 1409 ~ 1420.
- 15 Ros, D. D., and M. Borga, Use of Digital Elevation Model Data for the Derivation of the geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph. Hydrological Processes. 1997, 11: 13 ~ 33.
- 16 Schumm, S. A., Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands and Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Am. Bull. 1959, 67: 597 ~ 646
- 17 Smart, J. S., Quantitative Characterization of Channel Network Structure. Water Resources Research. 1972, 8(6): 1487 ~ 1496
- 18 Strahler, A. N., Dynamic Basis of Geomorphology, Geol. Soc. Am. Bull., 1952, 63: 923 ~ 938
- 19 Tarboton, D. G., R. L. Bras, and I. Rodriguez-Iturbe, On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. Hydrological Processes. 1991, 5: 81 ~ 100.

## 作者简介

廖学诚: 台湾林业试验所集水区经营系助理研究员。

黄琼璁: 台湾林业试验所集水区经营系研究员兼系主任。

漆升忠: 台湾林业试验所集水区经营系副研究员兼秘书。