

## 吉县蔡家川小流域水文响应相似性研究<sup>\*</sup>

刘利峰<sup>1</sup>, 毕华兴<sup>2</sup>

(1. 长治市 水土保持试验站, 山西 长治 046000; 2 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘 要:**在地理信息系统平台 - 美国 Micro Images 公司开发的 TN Tmips6.9 上, 以山西吉县蔡家川小流域 1:10 000 地形图为原始数据, 经一系列处理得到该小流域的数字高程模型, 之后抽取 6 个子小流域。使用自行编写的基于多流向算法的地形指数计算程序, 以生成的 DEM 为源数据, 计算出蔡家川小流域及 6 个子小流域的地形指数。在 Excel 中处理地形指数, 得到各自的地形指数频率分布。以地形指数频率分布是否相似来判断小流域与子小流域水文响应是否相似, 结果发现: 小流域与 4 号、5 号、7 号子小流域水文响应相似。

**关键词:**水文响应性; 地形指数; 多流向算法; 蔡家川小流域; DEM; TN Tmips6.9

**中图分类号:**           **文献标识码:**A           **文章编号:**1005-3409(2008)04-0161-04

## Research on the Hydrological Comparability of the Caijiachuan Small Watershed in Ji County of Shanxi Province

LIU Li-feng<sup>1</sup>, BI Hua-xing<sup>2</sup>

(1. Soil and Water Conservation Experimental Station of Changzhi City, Changzhi, Shanxi 04600, China;

2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** We obtained the DEM of the Caijiachuan small watershed by treating the topographic map on the scale of one to thousand of the small watershed on the GIS platform TN Tmips6.9. Next we extracted six son small watersheds. We calculated the topographic index of the small watershed and her sons using the program which was developed independently by us on the base of the multiple flow direction arithmetic. We obtained the frequency distributions of the topographic index of the small watersheds with the software Excel. We judged if the small watershed was similar to her sons on the hydrological response by seeing if the frequency distribution of the topographic index of the small watershed was similar to her sons. We found NO.4, 5, 7 sons were similar to their father on the hydrological response.

**Key words:** hydrological response; topographic index; the multiple flow direction arithmetic; the Caijiachuan small watershed; DEM; TN Tmips6.9

### 1 引 言

流域径流过程是流域对降雨的响应过程。若在相同的降雨条件下, 两个流域有相同或相似的径流过程, 则认为两个流域水文响应相同或相似。除降雨外, 若不考虑流域地质、土壤、植被等因素对流域径流过程的影响, 则流域径流过程只取决于流域地形。显然, 在降雨相同及不考虑地质、土壤、植被等因素的情况下, 两个流域水文响应性是否相似, 只取决于它们的地形相似与否。

1974 年 Kirkby 和 Weyman 首次提出地形指数这一概念。1979 年 Beven 和 Kirkby 提出 TOPMODEL, 该模型借助地形指数来描述径流累积趋势和由于重力作用径流沿着

坡面运动的趋势。Beven 和 Kirkby 认为地形指数的空间分布可以反映流域的地形特征, 具有相同或相似地形指数频率分布的流域, 它们的地形特征相同或相似。

综上, 在降雨相同及不考虑地质、土壤、植被等因素的假定下, 两个流域若具有相同或相似的地形指数频率分布, 则这两个流域的水文响应性相同或相似。本文所说的水文响应相似性就是这个涵义。

### 2 研究区概况

蔡家川小流域大部分位于山西吉县境内, 只有西北小部分位于山西大宁县。流域东西狭长, 南北剖面呈凹形, 地势西高东低, 海拔高度在 904~1 592 m 之间, 相对高差 688 m。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-12-13

基金项目: “黄土区农林复合系统可持续经营技术研究(2006BAD03A503)”、“黄土高原沟壑区水土流失综合调控原理与治理范式(2007CB407207)”

作者简介: 刘利峰(1980-), 男, 山西长治人, 助理工程师, 硕士, 主要从事水文方面的研究。E-mail: jack\_liu\_1980@hotmail.com

通信作者: 毕华兴(1969-), 男, 陕西米脂人, 副教授, 主要从事森林水文和地理信息系统应用方面的研究。E-mail: bix @bifu.edu.cn

流域内沟谷广泛发育,沟壑纵横地形起伏剧烈,主沟道东西走向,为常流水河道,支沟从南北两侧汇入主沟,沟道总长度为 32 km,沟壑密度达 0.8 km/km<sup>2</sup>。

### 3 材料与方法

本研究主要使用如下软件:图像处理软件 Photoshop 6.0,地理信息系统软件 TNTmips6.9,集成开发环境 Visual Basic 6.0。图像处理软件 Photoshop 6.0 主要用来删除数字化地形图的冗余信息。TNTmips6.9 由美国公司 Micro Images 开发,蔡家川小流域数字高程模型的生成和其子流域的抽取以及 DEM 的预处理在该平台上完成。作者使用集成开发环境 Visual Basic 6.0 自行编写基于多流向假设的地形指数计算程序,用这个程序完成小流域及其子流域的地形指数计算。

#### 3.1 小流域 DEM 生成及其子小流域抽取

将山西吉县蔡家川小流域 1:10000 地形图数字化,使用图像处理软件 Photoshop 6.0 处理数字化后的地形图(删除冗余信息),之后将其导入地理信息系统软件 TNTmips 6.9,使用其模块 raster to vector 和 surface modeling,最终得到蔡家川小流域 DEM(水平精度 50 m),见图 1。

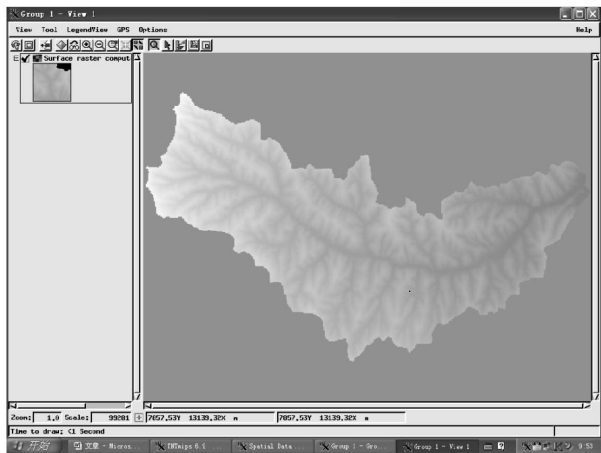


图 1 蔡家川小流域 DEM

子小流域抽取的主要步骤是(图 2 - 4):使用 TNTmips6.9 的 watershed 模块处理生成的 DEM,得到矢量图形 Standard Basin,在 TNTmips6.9 的 Edit Spatial Data 环境下将小流域 DEM 和 Standard Basin 作为参考层,同时结合已有的蔡家川小流域图,在自动捕捉状态下绘制出子小流域的边界,并将它们保存为矢量图形,使用 TNTmips6.9 的 extract 模块,以生成的边界矢量图工具,将子小流域从小流域中抽取出来,共得到 6 个子小流域,并以其所拥有的量水堰命名。

地形指数的计算是基于 DEM 的,但这里所说的 DEM 并非原始 DEM 而是经过预处理的 DEM(即最大程度地消除了缺陷的 DEM)。笔者在 TNTmips6.9 环境中使用 raster 模块下的 watershed 子模块完成小流域及其子小流域 DEM 的预处理,得到相应预处理后的高程矩阵,同时可得到副产品即上游汇水矩阵和流向矩阵(watershed 子模块的算法前提是单一流向)。

#### 3.2 地形指数计算程序编写

地形指数又称为地貌指数,定义为  $\ln(A/\tan \alpha)$ ,其中 A 为单宽集水面积,定义为流过单位长度等高线的水流对应的来水面积,计算公式为  $A/L$ ,A 为集水面积,定义为流过某段等高线长度的水流对应的上游汇水面积,L 为入流方向上的有效等高线长度,tan  $\alpha$  为地表单元的坡度正切函数值,则  $\ln(A/\tan \alpha) = \ln((A/L)/\tan \alpha)$ 。地形指数反映了径流在流域中任一点的累积趋势(以  $\ln(A/\tan \alpha)$  表示)以及重力使径流顺坡移动的趋势(以 tan  $\alpha$  表示)。

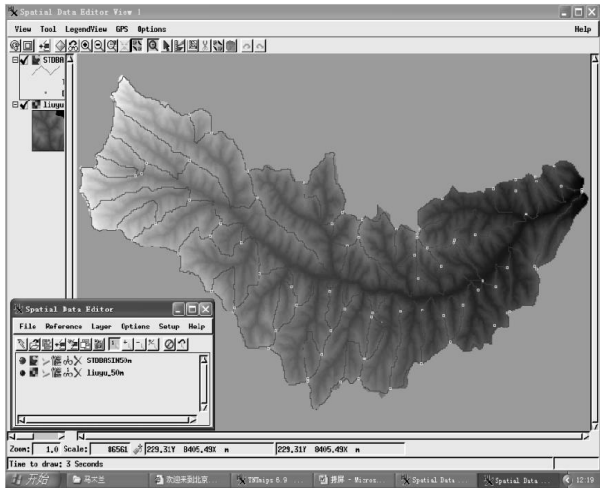


图 2 Edit Spatial Data 环境下引入参考层

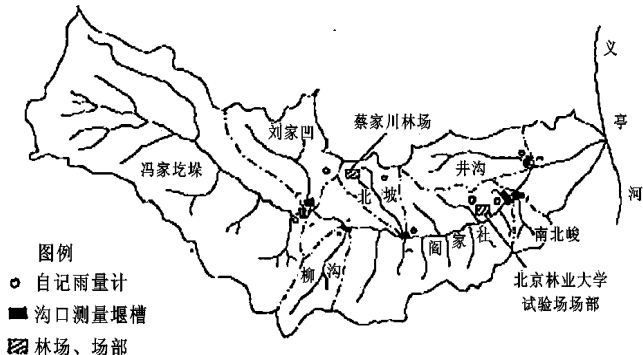


图 3 蔡家川小流域图

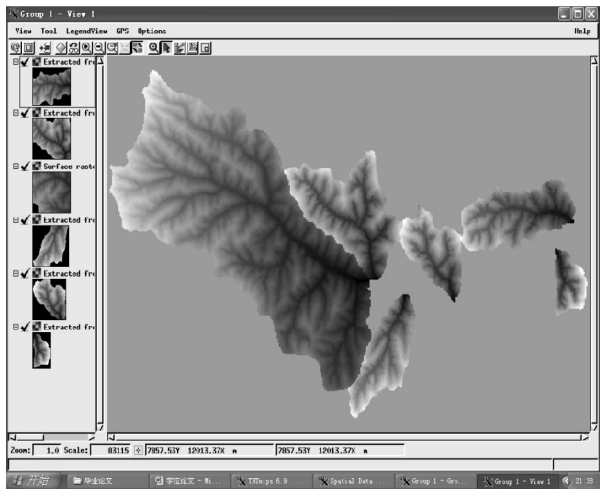


图 4 抽取得到的子小流域

目前,计算地形指数是以数字高程模型(DEM)为基础,常用的算法有两种,即单一流向算法和多流向算法。两种算法对水流在模拟地表(DEM)流动时的流向有不同的假定,单一流向算法假定水流从中心格子出发只向 8 个方向中坡度最陡的方向流动,多流向算法假定水流从中心格子出发可向 8 个方向中任何一个方向流动,只要该方向上格子高程值小于中心格子的高程值。

笔者所编写的计算程序基于多流向算法。假设要计算某 DEM 中第  $(i, j)$  个格网单元的地形指数(图 5),则先按照一定规则对流向编码(见图 6)。

$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
$(i, j-1)$	$(i, j)$	$(i, j+1)$
$(i+1, j-1)$	$(i+1, j)$	$(i+1, j+1)$

图 5 第  $(i, j)$  个格网单元及其周围相邻的格网单元

$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
1	2	3
$(i, j-1)$	$(i, j)$	$(i, j+1)$
4		5
$(i+1, j-1)$	$(i+1, j)$	$(i+1, j+1)$
6	7	8

图 6 本文所使用的流向编码

多流向算法对地形指数计算公式中的  $A$ 、 $L$ 、 $\tan$  的推求过程如下:

(1)  $\tan$  的推求。设  $\tan(i)$  是该格子周围第  $i$  个出流方向上的坡度正切值,以方向 8 为例,其计算公式为

$$\tan(i) = \frac{\text{elevation}(i, j) - \text{elevation}(i+1, j+1)}{\text{distance}}$$

$\text{elevation}(i, j)$  为格子  $(i, j)$  的高程值,对角线方向  $\text{distance} = \sqrt{2}D$ ,非对角线方向  $\text{distance} = D$ ,  $D$  为格子边长即 DEM 的水平分辨率,  $\text{downscl}(i)$  是该方向上的有效等高线长度,对角线方向  $\text{downscl}(i) = 0.354D$ ,非对角线方向  $\text{downscl}(i) = 0.5D$ ,  $\text{downscl}(i)$  是所有出流方向上的有效等高线长度之和,则该格子的  $\tan$  值这样求算。

$$\tan = (\tan(i) \frac{\text{downscl}(i)}{\text{downscl}(I)})$$

(2)  $L$  值的推求。设  $\text{upscl}(i)$  是该格子周围第  $i$  个入流方向上的有效等高线长度,对角线方向  $\text{upscl}(i) = 0.354 \times D$ ,非对角线方向  $\text{upscl}(i) = 0.5 \times D$ ,  $L = \text{upscl}(i)$ 。

(3)  $A$  的处理。设格子边长为  $D$ ,首先将所有格子的  $A$  均赋初值为  $D \times D$ ,之后逐行逐列遍历所有格子执行上游汇水面积分配操作。现以遍历到第  $(i, j)$  个格子时为例进行说

明:设  $A(i, j)$  为该格子的上游汇水面积,  $A_i$  是该格子周围第  $i$  个出流方向上的格子的原始上游汇水面积值,  $A_i$  是第  $i$  个出流方向上的格子所得到的  $A(i, j)$  的分配值。

$$A_i = A(i, j) \left( \frac{\tan(i) \cdot \text{downscl}(i)}{\tan(i) \cdot \text{downscl}(i)} \right), A_i \text{ 求出后用 } A_i + A_i \text{ 更新第 } i \text{ 个出流方向上的格子的上游汇水面积值,按照上述分配方案遍历所有格子后,每个格子的 } A \text{ 值便确定下来。}$$

在集成开发环境 Visual Basic 6.0 中参考多流向算法,结合具体情况编写了基于多流向假设的地形指数计算程序(图 7)。程序要引入预处理后的高程矩阵,可程序无法直接读入 TN Tmips6.9 默认格式的数据,但 VB 中有能实现从记事本文件中读写数据的语句,故要将相关矩阵从 TN Tmips6.9 导出到相应记事本文件,程序计算得到的地形指数也写入指定的记事本文件。

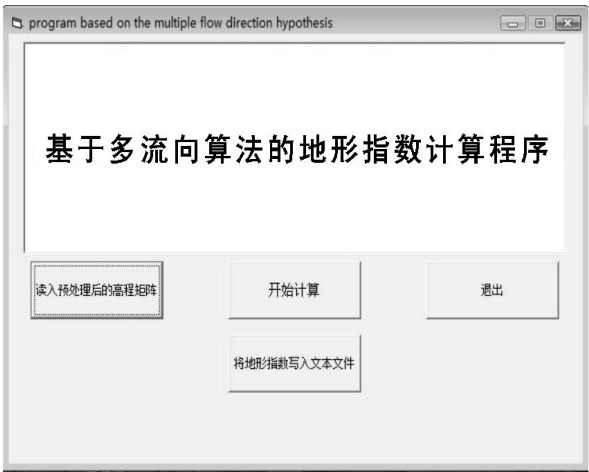


图 7 基于多流向算法的程序界面

3.3 地形指数计算

使用 TN Tmips6.9 的 import/export 模块将预处理后的高程矩阵导出到相应的记事本文件,之后运行计算程序从相应记事本文件中读入数据并进行计算,计算完毕后结果写入指定的记事本文件。对小流域及其子小流域均执行上述过程,这样便可得到它们的地形指数。

4 结果分析

将计算结果从记事本文件导出到 Excel,在 Excel 中对结果进行一系列处理,得到它们的地形指数频率分布,之后比较小流域与子小流域地形指数频率分布的不同(见图 8)。图中横轴代表地形指数的不同区间,纵坐标,即地形指数频率,表示落在某区间的地形指数值对应的网格数占流域总网格数的百分比。

5 结 论

从图 8 可知:1 号、3 号、6 号子小流域与蔡家川小流域的地形指数频率分布明显不同,而 4 号、5 号、7 号子小流域与蔡家川小流域的地形指数频率分布相似。

根据前言中所述“在降雨相同及不考虑地质、土壤、植被

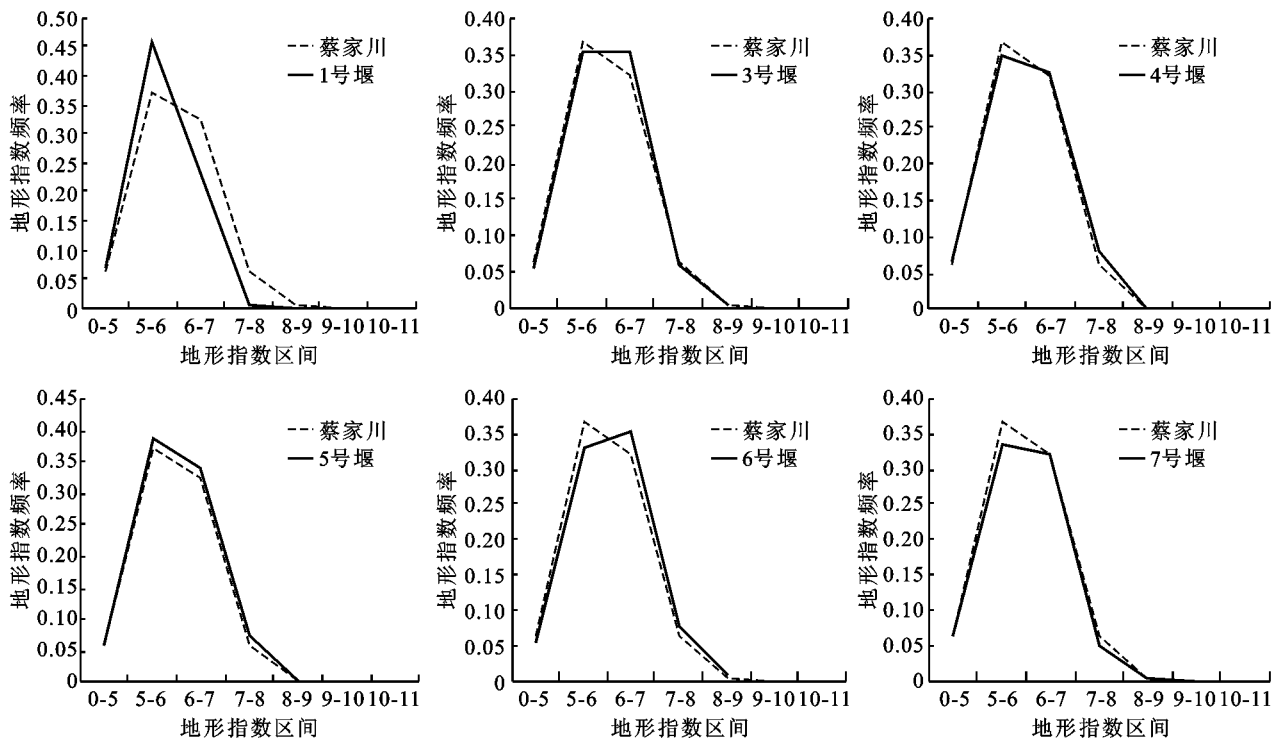


图 8 小流域与子小流域地形指数累积频率分布比较

等因素的假定下,两个流域若具有相同或相似的地形指数频率分布,则这两个流域的水文响应性相同或相似”,那么我们可以认为 4 号、5 号、7 号子小流域与蔡家川小流域水文响应性相似。

参考文献:

[1] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技

大学出版社,2002.

[2] 邓慧平,李秀彬. 地形指数的物理意义分析[J]. 地理科学进展,2002,21(2):103-110.  
[3] 孔凡哲,芮孝芳. TOPMODEL 中地形指数计算方法的探讨[J]. 水科学进展,2003,14(1):41-45.  
[4] 孔凡哲,芮孝芳. 基于地形特征的流域水文相似性[J]. 地理研究,2003,23(6):709-715.

(上接第 160 页)

在水分供应充足的条件下,I-107、L35 和 NL95 的日均气孔导度和蒸腾速率明显高于其它杨树无性系,生长量与蒸腾速率相关性也最明显,蒸腾耗水量也较多,3 个杨树无性系的单株材积也明显高于其它杨树无性系,说明在水分供应充足的林地,应选择蒸腾速率高、生长快的杨树无性系栽植,如 I-107、L35 和 NL95;在水分匮乏的条件下,选择蒸腾速率低的杨树无性系,如 L323、中林 46 和 NL895。

参考文献:

[1] 李洪建,柴宝峰,王孟本,等. 北京杨水分生理特性研究[J]. 生态学报,2000,20(3):417-422.

[2] 李海梅,何兴元,陈玮. 沈阳城市森林主要绿化树种丁香的光合特性研究[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2245-2249.  
[3] 阮成江,李代琼. 黄土丘陵区沙棘气孔导度及其影响因素[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1078-1084.  
[4] 郭连生,刘亮. 9 种阔叶幼树的蒸腾速率、水势和环境因子关系的研究[J]. 生态学报,1992,12(1):47-52.  
[5] 苏东凯,周永斌,唐庆华,等. 不同杨树品种光合生理生态特性的研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(2):39-41.