

DEM 栅格单元异质性对地形湿度指数提取的影响分析

马建超, 林广发*, 陈友飞, 陈俊明

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 福建省陆地灾害工程技术研究中心, 福州 350007)

摘要: 地形湿度指数可定量模拟流域内土壤水分的干湿状况, 是静态土壤含水量的最常用指标, 具有明确的物理意义。但是, 由于 DEM 本身的结构特点, 其提取的地形湿度指数具有尺度依赖性。本文主要探讨因 DEM 水平分辨率不同而导致的 DEM 栅格单元异质性, 对地形湿度指数提取的影响。以厦门市地貌类型比较复杂的西源溪流域为实验区, 使用 1:1 万等高线生成的 2.5m 和 20m 分辨率 DEM 数据, 分别提取地形湿度指数并计算栅格单元地形异质性指数, 分析 DEM 栅格单元异质性指数与地形湿度指数之间的关系。研究表明, 基于高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数与地形湿度指数偏差之间均存在显著的负相关性, 这 4 个异质性指数对地形湿度指数差值的对数回归模拟效果良好且显著有效。这对低分辨率 DEM 提取地形湿度指数的误差纠正, 以及描述区域土壤含水量等地形湿度指数的应用研究具有积极意义。

关键词: DEM; 地形湿度指数; 分辨率; 空间异质性

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00157

1 引言

在湿润条件下, 对土壤覆盖较浅的不透水岩床流域而言, 地形对坡面产流有重要的影响, 易引起顺坡流。鉴于, Beven(1979)^[1] 提出地形湿度指数 (Topographic Wetness Index, TWI), 它作为全流域降雨-径流模型 TOPMODEL^[1] 的重要指标, 其空间格局反映了流域饱和和含水量的空间分布。由于地形湿度指数实际上是一种对径流路径长度和产流面积的定量描述, 因而, 也是对流域中各点潜在土壤含水量和径流产生潜在能力的量化, 可用来表征理想状态下流域每点长期的土壤水分状况, 或者说流域蓄满产流面积占流域总面积的比例^[2], 利用 GIS 可以方便地从流域高程信息中提取。

DEM 数据属于镶嵌数据模型, 即用连续的格网单元来逼近地形表面^[3], 栅格 DEM 对地面的逼近程度取决于栅格单元的水平分辨率大小。DEM 的水平分辨率越高, 即栅格单元的尺寸越小, 越逼近真实的地形表面; DEM 的水平分辨率越低, 即栅格单元越大, 其表达的地形表面与真实值的误差越

大。因此, 基于 DEM 提取地形湿度指数时, DEM 数据栅格单元的分辨率大小对地形湿度指数的准确提取具有重要影响。郝振纯^[4]、孙立群^[5] 采用信息熵对 DEM 的空间分辨率对分布式水文模拟分布式个率的影响作了初步研究。汤国安^[6]、刘学军^[7] 等通过分析 DEM 的尺度效应, 提出 DEM 地形分析应考虑格网单元地形异质性的影响。

参照生态学中异质性的概念^[8-9], DEM 栅格单元异质性被理解为栅格单元内部地形的复杂度和变异性。对异质性的定量表达与地学模型相结合, 可以帮助改进有关的地学模型, 并理解这些地学模型及其反馈机制。目前, 韩富江^[10-11]、韩羽^[12] 对栅格单元异质性的定量表达进行了探讨研究, 韩富江提出采用高程标准差、地形起伏度、地表粗糙度和平均坡度 4 个指标度量 DEM 栅格单元地形异质性的不同方面, 通过归一化综合处理, 得到 DEM 栅格单元地形异质性的综合度量指标, 对可视性分析的影响进行研究。韩羽对栅格单元异质性指标进行了补充, 提出基于高程标准差、地形起伏度、坡度标准差、平均坡度、地面坡度变率, 以及景观生态学原

收稿日期: 2010-09-16; 修回日期: 2011-03-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(40401049); 福建省科技厅创新平台建设项目(2009Y2002)。

作者简介: 马建超(1985-), 女, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向: 地理信息系统应用。E-mail: mjcfjnu@163.com

* 通讯作者: 林广发(1970-), 男, 福建上杭人, 博士, 副教授, 从事地理信息系统应用研究。E-mail: GuangFaLin@263.net

理的栅格单元异质性量化指标,对坡度、曲率、地表粗糙度和沟谷提取的影响进行分析。本文在以上研究的基础上,进一步提出景观多样性的栅格单元异质性指数,对栅格单元异质性地形湿度指数提取的影响进行研究。由于地形湿度指数是坡度和水流方向的复合函数,栅格单元异质性将对其产生双方面的影响,导致其结果发生较大的变化,因此,研究栅格单元异质性地形湿度指数提取的影响很有必要。

2 实验方法

厦门市位于福建省南部沿海,气候温暖湿润,属于亚热带海洋性季风气候。地貌类型有山地、丘陵、台地、平原及滩涂等类型,其分布具有两头小、中间大的特点,即山地和平原面积较小(约占总面积 1/4),丘陵、台地面积较大(约占总面积 3/4)。本文的研究区西源溪流域(如图 1)位于厦门最大的河流西溪的上游,流域面积约 38km²,海拔高度为 22~888m,最大高差达 866m,地势较陡峭,地貌类型包括山地、丘陵、台地,地形变化较大。本研究利用 1:1 万比例尺全要素等高线图,构建格网大小为 2.5m×2.5m 的 DEM 数据^[13],通过双线性内插法重采样成格网大小为 20m×20m 的 DEM 数据,数据格式为 grid 格式。

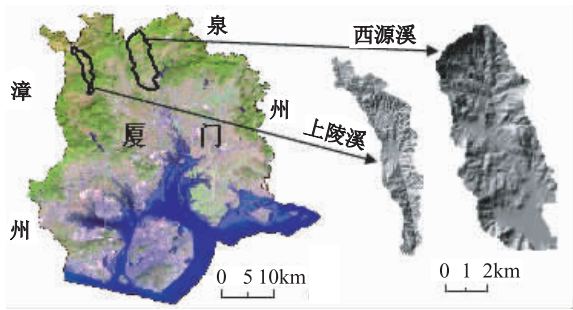


图 1 西源溪流域

Fig. 1 Position of Xiyuanxi watershed

2.1 地形湿度指数的提取

地形湿度指数的公式为:

$$\omega = \ln(As/\tan\beta) \tag{1}$$

对于栅格 DEM,As 为上坡区域通过单位等高线长汇集到此栅格单元的面积,反映径流在流域中任一点的累积趋势,β 为该单元格网的坡度,tanβ 为单元网格的坡角,反映重力使径流沿坡面移动的趋势。

坡度的求取采用 3×3 局部移动窗口的三阶反距离平方权差分的拟合曲面法^[14]。单位汇水面积是流域集水面积与水流宽度的比值,在地表径流模拟过程中,径流算法是流域集水面积提取的基础,本文使用 Quinn 多流向算法^[15]确定水流方向。

2.2 计算 DEM 栅格单元异质性指数

根据景观生态学中空间异质性的定量描述,以及地形复杂度的表达,本文采用高程标准差(Standard Deviation of Elevation)、地势起伏度(Relief)^[16]、景观破碎化指数(Landscape Fragmentation Index)^[17]、景观多样性指数(Landscape Diversity Index)^[18-19] 定量化描述 DEM 栅格单元异质性。为了在不同指标之间进行比较分析,需要对各指标进行标准化处理,使这些指标处于同一个量化级上。为此,使用极差标准化的方法对 4 个指数进行归一化处理,得到反映低分辨率 DEM 栅格单元内部地形变异的异质性指数,分别记为 SDE、RF、LFI、LDI。以 SDE 为例,其归一化指数为:

$$SDE = \frac{\sigma - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}} \tag{2}$$

其中,σ_{max}、σ_{min} 分别为整个实验区内高程标准差的最大值和最小值。

计算地形景观类型的破碎度和多样性指数时,将 DEM 栅格单元中属性不同的栅格视为不同的景观类型镶块(斑块)。DEM 的地形景观可以是高程、高差、坡度、坡向等基本地形参数,也可以是地形湿度指数、水流强度指数、输沙能力指数、太阳辐射量等复合地形属性,这些地形景观不同类型的栅格即可作为景观类型镶块体(斑块)。坡度作为地表倾斜程度的度量,是地形特征分析和可视化的基本要素,在流域单元、景观单元等研究中有重要意义。因此,将坡度作为反映地形变化的地形景观类型求取 DEM 栅格单元破碎度和多样性指数。将 2.5m 分辨率 DEM 提取的坡度按 3°间隔进行分类,统计每 64 个栅格单元范围内的坡度类型数量,得到 DEM 栅格单元的破碎度,以及多样性指数,计算景观破碎度和多样性的标准化 DEM 栅格单元异质性指数。

2.3 数据处理

提取地形湿度指数时,使用 ArcGIS 9.2 中 Special Analyst 模块的 Slope 工具计算实验样区的

坡度(β),利用秦承志的简化数字地形分析软件^[20]中“区域地形属性”菜单中的汇流面积计算功能计算流域的单位汇水面积(A_s)。最后,再通过 ArcGIS 9.2 中 Spatial Analyst 模块中的 Raster Calculator 工具,根据公式 $w=\ln(A_s/\tan\beta)$ 计算地形湿度指数。

高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性指数的计算,是对 2.5m 分辨率 DEM 上 8×8 分析窗口的非重叠邻域进行分析,在 ArcGIS 9.2 的 Neighborhood Statistics 工具模块中计算,然后进行标准化处理,得到 20m 分辨率 DEM 栅格单元异质性的 4 个指数。

3 DEM 栅格单元异质性地对地形湿度指数提取的影响分析

3.1 DEM 栅格单元异质性地对坡度提取的影响

为了分析 DEM 栅格单元异质性地对坡度提取的影响,将 20m DEM 提取的坡度与 2.5m DEM 的坡度进行差值计算(将分辨率为 20m 的坡度栅格图细化为 2.5m 分辨率的栅格数据),得到每个栅格坡度的差值,此差值的绝对值即为该栅格单元坡度提取的绝对偏差。由于西源溪流域 DEM 内部所包含的栅格单元数量巨大,无法统计每个栅格的坡度偏差和地形异质性指数的值,所以,采用分级统计的方法,使用 ArcGIS 9.2 中 Special Analyst 模块的 Reclassify 工具,对 20m 分辨率 DEM 提取的坡度按 3° 的坡度分级^[21]进行分类,分别求各坡度级内所有栅格单元坡度的绝对偏差和异质性指数的均值,分析坡度差值与 DEM 栅格单元异质性指数之间的关系。结果如图 2 所示。

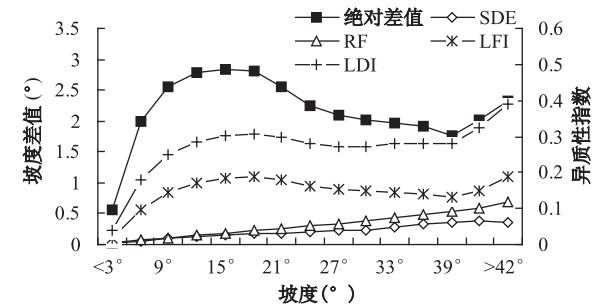


图2 坡度偏差和各栅格单元异质性指数的分布
Fig. 2 Distribution of heterogeneity indices and slope variance

从图 2 中可以看出,坡度偏差在不同的坡度类型上是不同的,在小于 6° 的范围内坡度偏差最小, $6\sim 24^\circ$ 的范围内较大,大于 24° 的范围内又回落到较低的水平。基于景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数(LFI, LDI)在不同坡度类型上的变化趋势与坡度偏差的变化趋势大致相同;而基于高程标准差和地势起伏度的栅格单元异质性指数(SDE, RF)随坡度类型不同而变大。

使用 SPSS 16.0 软件作为数据分析的工具,对各坡度级别上的坡度值的绝对偏差和各栅格单元异质性指数进行相关分析,得到高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数与坡度偏差的 Pearson 相关系数分别为:0.051、0.010、0.898($p=0.01$)、0.773($p=0.01$)。综上所述,基于高程标准差和地势起伏度的栅格单元异质性指数与坡度偏差的相关性小,而基于景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数与坡度偏差之间的相关性显著,这与景观破碎度和多样性的计算是以坡度类型作为景观镶嵌体求得的有一定的关系。因此,地形景观破碎度和多样性指数能很好地说明坡度变异的情况。

3.2 DEM 栅格单元异质性地对单位汇水面积的影响

计算各单位汇水面积类别(按照 2.5m 分辨率 DEM 提取的单位汇水面积 $50\text{m}^2/\text{m}$ 间隔分类)上 2.5m 与 20m 分辨率单位汇水面积(Specific Catchment Area, SCA)的差值,以及各栅格单元异质性指数,结果如图 3 所示。

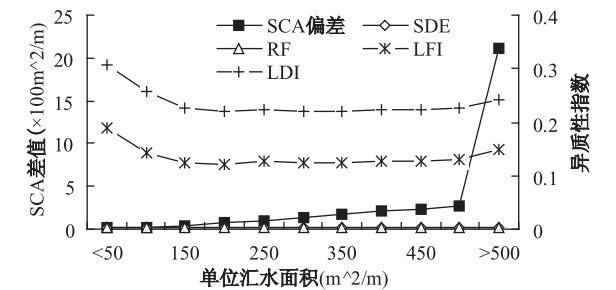


图3 各单位汇水面积类别上差值和异质性指数的分布
Fig. 3 Distribution of heterogeneity indices and SCA variance

通过图 3 可以看出,单位汇水面积的差值在其面积小于 500m^2 的范围内逐渐变大,在大于 500m^2 的范围内急剧变大。由此得出,2.5m 和 20m DEM

单位汇水面积差值在 500m²附近有较大的变化,单位汇水面积大于 500m²的栅格其上游的集水面积增加幅度变大。

对单位汇水面积的差值和各栅格单元异质性指数进行相关分析,基于高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数与单位汇水面积偏差的 Pearson 相关系数分别为:−0.547 (p = 0.1)、−0.654 (p = 0.05)、0.180、0.009,即基于高程标准差、地势起伏度的栅格单元异质性指数与单位汇水面积偏差的相关性显著,且为负向相关。

以上结果是由于单位汇水面积是流域集水面积与水流宽度的函数,在山脊或坡面等上坡位,流域集水面积小,故单位汇水面积值较小,其差值也较小,而这些部位的地势变化较大,因此,栅格单元异质性大;在河谷或坡脚等部位,流域集水面积大,当 DEM 分辨率降低,栅格单元变大时,其差值也较大,而河谷等部位比较平坦,地形变化较小,因此,这些位置的栅格单元异质性较小。综上,单位汇水面积的差值随单位汇水面积数值的增大而变大,与栅格单元异质性成显著负相关。

3.3 DEM 栅格单元异质性对地形湿度指数的影响和结果分析

地形湿度指数作为坡度和单位汇水面积的复合函数,受到 DEM 栅格单元异型性的双重影响。为了分析栅格单元异质性对地形湿度指数的影响,统计各地形湿度指数类别(分类间隔为 1 个单位)上 20m 和 2.5mDEM 提取的地形湿度指数的差值,以及 DEM 栅格单元异质性指数,结果如图 4 所示。

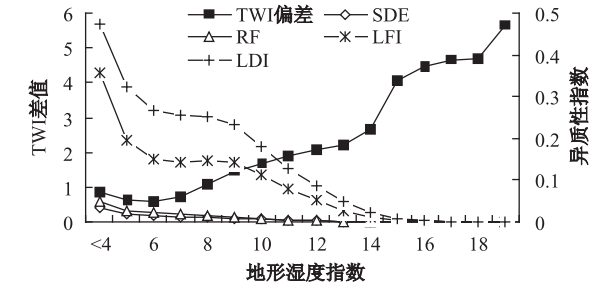


图4 地形湿度指数偏差和栅格单元异质性指数的分布
Fig. 4 Distribution of heterogeneity indices and TWI variance

从图 4 可以看出,地形湿度指数的差值逐渐变大,而栅格单元异质性指数的变化恰好相反。对其

进行相关性分析,基于高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数与地形湿度指数差值的 Pearson 相关系数分别为:−0.707、−0.712、−0.779、−0.841(显著性水平均为 0.01),说明 4 个栅格单元异质性指数均与地形湿度指数差值成显著负相关性。此结果由于地形湿度指数是坡度和单位汇水面积的复合函数,与坡度成反比,与单位汇水面积成正比。而坡度偏差与景观破碎度和多样性指数成显著正向相关,单位汇水面积偏差与高程标准差和地势起伏度之间是显著负向相关。所以,地形湿度指数与 DEM 栅格单元异质性的 4 个指数的相关性为负,并且相关性显著。建立高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数与地形湿度指数差值之间的回归模型(见表 1,图 5-8),其回归方程式的决定系数 R^2 均大于 0.9, $F > F_{0.01}(1, 14) = 8.86$,回归方程显著有效。

表 1 SDE、RF、LFI、LDI 与 TWI 差值的对数回归模型
Tab. 1 The logarithmic regression model with SDE, RF, LFI, LDI and TWI variance

DEM 栅格单元 异质性指数	回归分析模型	R ²	F
高程标准差 (SDE)	TWI variance=1.345− 0.755 ln(SDE×10)	0.954	291.481
地势起伏度 (RF)	TWI variance=1.518− 0.656ln(RF×10)	0.960	334.65
景观破碎度 (LFI)	TWI variance=1.502− 0.567 ln(LFI×10)	0.908	137.377
景观多样性 (LDI)	TWI variance=1.789− 0.551 ln(LDI×10)	0.903	129.831

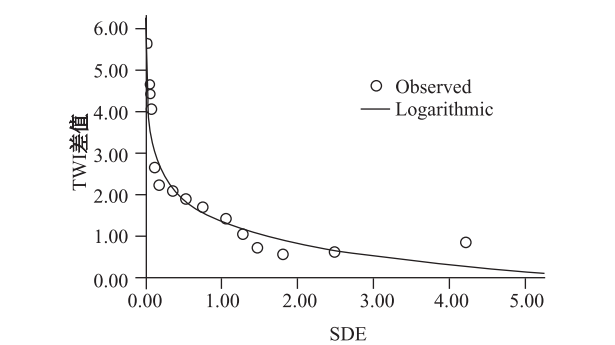


图 5 高程标准差与地形湿度指数差值的
对数函数模型
Fig. 5 Regression model with SDE and TWI variance

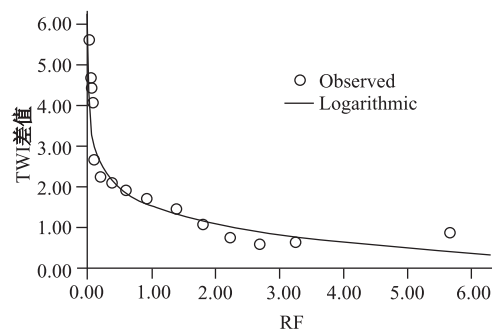


图 6 地势起伏度与地形湿度指数差值的对数函数模型

Fig. 6 Regression model with RF and TWI variance

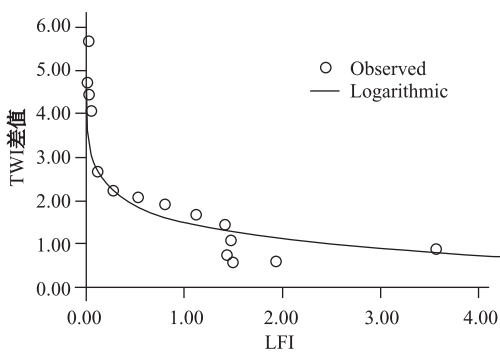


图 7 景观破碎度与地形湿度指数差值的对数函数模型

Fig. 7 Regression model with LFI and TWI variance

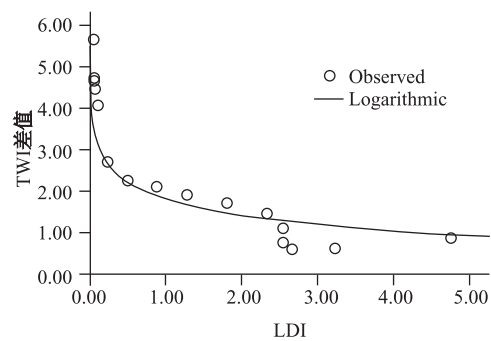


图 8 多样性指数与地形湿度指数差值的对数函数模型

Fig. 8 Regression model with LDI and TWI variance

地形湿度指数差值与高程标准差、地势起伏度、景观破碎度和多样性的这 4 个异质性指数的相关性显著。因此,这 4 种栅格单元异质性指数均可以用来评价栅格单元异质性对地形湿度指数提取的影响,并且可以用它们对地形湿度指数差值的对数回归模型对相同地貌类型地区的地形湿度指数误差进行纠正。

4 验证案例

将地形地貌类型与西源流域相类似的上陵流域作为验证实验区,检验栅格单元异质性指数的回归模型对低分辨率 DEM 提取地形湿度指数的修正作用。上陵流域(图 1)位于西溪的支流莲花溪的上游,海拔高度为 63~987m,最大高差 924m,地形陡峭,与西源流域的地形地貌有很好的相似性。

上陵流域 20m 分辨率 DEM 提取的地形湿度指数的值域范围是 3.67~14.43,与西源流域(其值域范围是 3.69~18.75)很接近。分别将二者均分成 10 个类别,然后将西源溪各类别上的修正系数赋予上陵溪的对应类别上,最后,用上陵流域 20mDEM 提取的地形湿度指数值减去修正系数,即得到纠正后的结果。将此结果与 2.5m 分辨率 DEM 提取的地形湿度指数求比值(图 9),以此检验纠正的效果。比值越接近 1,说明对低分辨率 DEM 提取 TWI 的纠正效果越好。

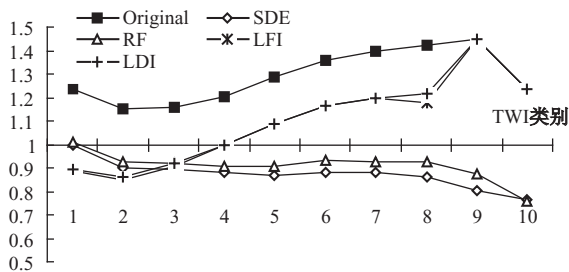


图 9 上陵流域 20m TWI 的纠正值与 2.5m TWI 的比值曲线

Fig. 9 Curves of the divided value between revisions of the 20m TWI and the 2.5m TWI

图 9 中 Original 曲线表示原始 20mTWI 与 2.5mTWI 的比值,SDE、RF、LFI、LDI 曲线分别为经过 SDE、RF、LFI、LDI 回归模型纠正后的 20mTWI 与 2.5mTWI 的比值。从上图可以看出,纠正后结果的比值比原始数据的比值更接近于 1,即纠正后的结果更接近高分辨率(2.5m 分辨率)提取的 TWI,纠正效果较好。

5 结论与讨论

(1)本文借鉴生态学中的景观多样性指数,与高程标准差、地势起伏度、景观破碎度 3 个指数共

同定量描述 DEM 栅格单元的地形异质性。利用这 4 种异质性指数对地形湿度指数差值的回归模型对低分辨率地形湿度指数进行纠正,可以提高地形湿度指数提取的准确性,为预测理想状态下区域土壤含水量等进一步地应用研究提供基础数据。

(2)考虑格网单元的地形异质性对地形湿度指数提取的影响是对复合地形参数尺度效应的初步探究,对其他相同分析方法下的地形因子的尺度研究具有一定的借鉴意义。

(3)本研究采用分级统计的方法对研究区汇水流域的栅格单元异质性指数与地形湿度指数偏差之间的相关性进行研究,没有对流域内每个栅格单元的值进行统计分析。所以本研究结果仅适用于西源溪流域整个区域,并不适用于该流域内单个栅格像元的误差分析。

(4)将坡度作为地形景观类型来计算景观破碎度和多样性的栅格单元异质性指数,具有一定的片面性,今后还需进一步挖掘其他的地形属性(地形景观类型)对 DEM 栅格单元异质性进行度量。

(5)基于 2.5mDEM 重采样的粗分辨率 DEM 的格网大小为 20m,是为了保证 DEM 栅格单元所代表的区域在位置上相对应,今后还要对当前常用格网尺寸的 DEM(如分辨率为 12.5m、25m 的 DEM)进行研究。

(6)西源溪地貌类型较复杂,不同地貌类型对不同分辨率下坡度、汇流面积、地形湿度指数的计算影响不同,而本文采用分级统计的方法,以研究区总体的统计值进行讨论,具有一定的局限性,在今后的研究中还需对此进行深入探讨。

参考文献:

- [1] Beven K J, Kirkby M J. A Physically-based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology [J]. Hydrological Sciences Bulletin, 1979(24): 43 - 69.
- [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] 汤国安,李发源,刘学军,等. 数字高程模型教程(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2010, 29 - 30.
- [4] 郝振纯,池宸星,王玲,等. DEM 空间分辨率的初步分析[J]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 499 - 504.
- [5] 孙立群,胡成,陈刚. TOPMODEL 模型中的 DEM 尺度效应[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 699 - 706.
- [6] 汤国安,刘学军,房亮,等. DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(12): 1059 - 1066.
- [7] 刘学军,卢华兴,仁政,等. 论 DEM 地形分析中的尺度问题[J]. 地理研究, 2007, 26(3): 433 - 442.
- [8] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍. 生态空间理论与景观异质性[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 453 - 461.
- [9] 游丽平,林广发,杨陈照,等. 景观指数的空间尺度效应分析——以厦门岛土地利用格局为例[J]. 地球信息科学, 2008, 10(1): 74 - 79.
- [10] 韩富江. DEM 栅格单元地形异质性与可视性分析的影响研究[D]. 南京师范大学硕士学位论文, 2007.
- [11] 韩富江,王德刚,丁维凤,等. DEM 栅格单元地形异质性的量度指标研究[J]. 地理与地理信息科学学报, 2010, 26(4): 7 - 11.
- [12] 韩羽. DEM 栅格单元异质性与多尺度地形分析的影响[D]. 西北大学硕士学位论文, 2009.
- [13] 陈俊明,林广发,杨志海. 数字河网提取的影响参数优化分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(1).
- [14] 陈楠,王钦敏,汤国安. 黄土高原丘坡信息 DEM 提取算法的应用[J]. 地球信息科学, 2006, 8(3): 69 - 75.
- [15] Quinn P, Beven K, Chevallier P, Planchon O. The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modeling Using Digital Terrain Models [J]. Hydrological Processes, 1991, (5): 59 - 79.
- [16] 周启明,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006, 112 - 114.
- [17] 肖笃宁. 景观空间结构的指标体系和研究方法[C]. 景观生态学理论、方法及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991, 92 - 98.
- [18] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 240 - 243.
- [19] Spellerberg I F, Fedor P J. A Tribute to Claude Shannon (1916 - 2001) and a Plea for More Rigorous Use of Species Richness, Species Diversity and the "Shannon-Wiener" Index[J]. Global Ecology & Biogeography, 2003(12): 177 - 179.
- [20] 秦承志,卢岩君,包黎莉,等. 简化数字地形分析软件(SimDTA)及其应用——以嫩江流域鹤山农场区的坡位模糊分类为例[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 737 - 743.
- [21] 朱梅,李发源. 坡度分级对地面坡谱的影响研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(6): 165 - 167.

The Effect of Terrain Heterogeneity on Topographic Wetness Index

MA Jianchao, LIN Guangfa, CHEN Youfei, CHEN Junming

(1. College of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;
2. Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial
Disasters, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The Topographic Wetness Index (TWI) is frequently used to simulate the soil moisture conditions in a watershed quantitatively. The index that extracted from DEM is an important factor with explicit physical significance in the rainfall-runoff process models. Some previous studies discovered that the TWI would change with the resolution of DEM from which it was derived and this change, and terrain heterogeneity of DEM grids were employed to explain the scale dependency. In this paper, we explored the resolution effects of TWI and the influence of terrain heterogeneity of DEM grids. The research area is located in Xiyuanxi watershed, Xiamen City of Fujian Province, which includes different terrain types such as hill, platform, plain, etc. A fine-resolution DEM with 2.5m grid size was used to investigate the scale dependency of TWI values when converting DEM with resolution of 20m. Four terrain and heterogeneity attributes were employed as the quantitative indices of terrain heterogeneity of DEM grids, i. e. standard deviation of elevation, relief, landscape fragmentation index and landscape diversity index. The correlation and regression analysis was performed to identify sensitive and correlative responses between each terrain heterogeneity index and TWI variance as resolution was changed. The results indicated significant negative correlations between the terrain heterogeneity indices and the TWI variance (the Pearson correlation coefficients were -0.707 , -0.712 , -0.779 and -0.841 respectively, all based on a high confidence level of 0.01). By extrapolating the fitted curve for the terrain heterogeneity indices and TWI variance, the logarithmic curves fit the optimal equations well (the coefficient of determination are all greater than 0.9, $F > F_{0.01}$). So, these indices can be used to evaluate the impact of the terrain heterogeneity on the TWI. Meanwhile, the regression models can improve the accuracy of the TWI derived from a coarse resolution DEM. The effect discussed in this study is helpful in providing a more accurate data for the TWI applications.

Key words: DEM; topographic wetness index; resolution; spatial heterogeneity