

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201606013



水土保持措施布局影响因子的 多尺度分析

陆在宝, 徐伟铭, 肖桂荣

(1. 福州大学 福建省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350002)

摘要: 以福建省长汀县为研究区,运用统计学方法和 GIS 技术,从自然环境方面分析不同尺度下的水土保持措施空间分布的主要影响因素.为了避免选择分析尺度的随意性,利用小波分析识别水土保持措施空间格局的特征尺度.采用 30 m×30 m 网格单元为基本研究单元,平均聚合生成以 30 m 为尺度间隔的多个尺度序列图层,分别构建不同聚合规模的水土保持措施与不同作用范围的影响因子之间的多元线性回归模型.研究表明:利用标准化回归系数衡量,水土保持措施空间分布影响因子在不同的作用范围及不同的规模尺度上,对水土保持措施空间分布的影响程度是不同的.

关键词: 水土保持; 影响因素; 小波分析; 特征尺度; 多元线性回归模型; 长汀县

中图分类号: S 157.2(257) **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2016)06-0725-06

Multi-Scale Analysis on Impact Factors of Layout of Soil and Water Conservation Measures

LU Zaibao, XU Weiming, XIAO Guirong

(1. Key Lab of Spatial Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;
2. Spatial Information Engineering Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Taking Changting County of Fujian Province as the research area, the main impact factors of the spatial distribution of soil and water conservation measures are analyzed in different scales from the aspects of natural environment by using statistical methods and GIS technology. In order to avoid the random selection of analysis scale, the characteristic scale of spatial pattern of soil and water conservation measures are identified by wavelet analysis. The scale of 30 m×30 m is used as the basic research unit, and the multiple scale sequence data layers is based on 30 m scale interval are generated by the average polymerization. The multiple linear regression model in different aggregate size between the soil and water conservation measures and its impact factors is constructed. The results show that the impact factors of spatial distribution of soil and water conservation measures have different effect on the spatial distribution of soil and water conservation measures in different ranges of action and different scales, and the influence degree is measured using standard regression coefficient.

Keywords: soil and water conservation; impact factor; wavelet analysis; characteristic scale; multiple linear regression model; Changting County

水土流失是制约人类生存和社会可持续发展的重大环境问题,也是中国各种生态问题的集中反

收稿日期: 2015-11-01

通信作者: 徐伟铭(1986-),男,讲师,博士,主要从事水土保持适宜性评价的研究. E-mail: xwming2@fzu.edu.cn.

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BAC08B02); 福建省教育厅科技项目(JK2014004, JA15070); 福州大学科技发展基金资助项目(2013-XY-15); 福州大学科技启动基金资助项目(0460-022500)

映^[1]. 水土保持措施的空间格局在不同的研究尺度上具有不同的特征,包括不同的影响因子、不同的特征演变过程. 目前,对影响因子多尺度分析研究大多采用空间自相关^[2-3]和半方差分析^[4-6]的量化尺度研究方法. 这两种方法只适合区域空间尺度分析,不能准确地得到特征尺度的范围. 小波分析^[7]能有效地从信号中提取信息,自适应的伸缩和平移等功能对信号进行多尺度细化分析,通过信息变换使局部特征信号突出,可用于识别空间格局的特征尺度和监测突变的特征信息. 胡云锋等^[8]应用小波变换和小波多尺度相关分析方法对归一化植被指数(NDVI)因子、地形因子的特征尺度进行研究. 傅丽华等^[9]选择长株潭城市群核心区土地,利用变化最明显的湘江样带开展研究,采用一维连续小波变换,求取土地利用变化的特征尺度值. 陈江平等^[10]选取两个时期的武汉市遥感影像,通过小波分析得到土地利用变化的特征尺度,并揭示土地利用变化在宏观上与微观上的制约因素. 本文以福建省长汀县为例,多尺度分析水土保持措施布局影响因子,由统计方法量化水土保持措施和影响因子的关系^[11-13].

1 研究区域的概况

长汀县地处福建省西部,武夷山脉南段,为闽赣两省的边陲要冲,在北纬 25°18′40″~26°02′05″,东经 116°00′45″~116°39′20″之间. 东西宽 66 km,南北长 80 km. 北与宁化相接,东北靠清流,东邻连城,南毗上杭,西南连武平,西和西北与江西赣南交界. 由于历史和自然原因,长汀是南方红壤区水土流失最严重的典型区域,土壤主要为地带性红壤,大部分以花岗岩、砂质岩、酸性岩侵蚀红壤为主,风化剧烈,保水保肥能力低,抗蚀能力差,土壤肥力衰退严重,极易发生水土流失.

2 材料与方法

2.1 数据预处理

选择的影响因子尽可能综合考虑各种自然与社会经济因素,兼顾数据的可获取性,以及满足空间化、量化的需求. 自然环境对水土保持措施空间格局变化发挥着重要的作用,又因为社会经济资料获取难度较大,因此,重点选取自然环境影响因子进行研究.

通过不断地实践发现:地形因子、植被覆盖度因子、土地利用类型、水土流失强度、道路、居民点等对长汀县水土保持措施空间分布格局的形成与演变具有直接或者间接的决定作用. 为了进行水土保持措施空间分布的影响因子分析,首先对原始数据进行分析 and 处理. 影响因子的分析与处理,如表 1 所示.

为了将各种不同来源的数据有效地叠加,消除不同数据之间不同规模序列的影响,需进行数据的网格化处理. 将研究区划分为 30 m×30 m 的矢量网格单元作为基本研究尺度. 该步骤在 ArcGIS 软件平台上完成;所有数据的基本统计分析采用 SPSS 19 软件完成,小波方差的计算采用 MATLAB 编程实现,小波方差-尺度图和标准化回归系数-尺度图的绘制通过 Excel 2010 完成.

表 1 影响因子分析与处理
Tab. 1 Analysis and treatment of impact factors

影响因子	分析与处理
坡度	根据 1 : 10 000 数字高程模型(DEM)数据,通过 ArcGIS10. 2 的 Slope 函数计算得到坡度. 考虑到不同治理措施的坡度要求,查轩等 ^[14] 对流域进行坡度分级,以 0°~5°,5°~8°,8°~15°,15°~25°,25°~35°,35°~90°对研究区进行坡度分级
土地利用类型	土地利用分类主要采用基于知识规则的分层分类提取方法,对多时期 Landsat TM/ETM 遥感影像进行影响判读,提取专题信息. 将各专题信息提取结果拼接,并进行精度评价,将土地利用类型归并为 6 种不同的一级土地利用,分别为高植被覆盖区(有林地)、低植被覆盖区(疏林地)、火烧迹地、建设用地、农用地、砂石地(裸地)
植被覆盖度	利用经过几何校正、大气校正的福建省多时期的 Landsat TM/ETM ⁺ 遥感影像,在 ERDAS 软件中计算 NDVI,利用土地利用类型图对 NDVI 图进行切割,作出各种类型所对应的概率分布,并计算置信区间内的最值. 按照相应公式计算整个研究区的植被覆盖度,并生成栅格大小为 5 m×5 m 的植被覆盖度图层

续表

Continue table

影响因子	分析与处理
水土流失强度	利用通用土壤流失方程(USLE)模型及模型中各因子参数,获得福建省长汀县土壤侵蚀模数空间分布. 利用水利部的标准进行分级,分别为轻度流失、中度流失、强烈流失、极强烈流失、剧烈流失,并获得水土流失强度分布
离最近道路的距离	利用灰度形态特征对遥感影像进行分割,二值化后,得到基本的道路网络轮廓,再利用线段特征匹配方法提取道路网络,做成单独的图层. 通过 ArcGIS 10.2 的 Near 工具,计算出研究区域各点距离最近道路的距离
离村庄居民点距离	基于多波段信息的图像分割模型,从 TM 遥感影像提取居民点、道路等光谱相近的地物,然后,依据居民点的形态特征分离道路,提取出村庄居民点,做成单独的图层. 通过 ArcGIS 10.2 的 Near 工具计算研究区域各点距离最近村庄居民点的距离
土壤可蚀性因子	利用已经得到的长汀县土壤类型分布图,参照前人对福建省主要分布的土壤类型进行研究得到土壤可蚀性因子. 针对不同的土壤类型赋成其对应的 K 值,得到长汀县土壤可蚀性因子分布图
劳动力密度	将研究区划分为若干小流域,根据“汀江源”水土保持生态建设规划(2010—2017 年)资料统计每个小流域对应的农村人口数和面积,然后,计算得到小流域内每公顷土地所占的人口数

2.2 小波分析

2.2.1 样带的选取 沿纬线(25°33′N~25°48′N)和经线(116°20′E~116°30′E)方向设置样带宽度为一个网格单元(即 30 m×30 m 空间分辨率)的 6 条样带,分别按顺序连续采取 165,257,183,283,233,446 个数据样点. 2004—2013 年,研究区水土保持措施空间分布及其样带位置图,如图 1 所示.

进一步对选择的样带进行分析,研究区中水土保持措施的实施地区主要分布在河田、策武、三洲、濯田等乡镇,设置经度方向上 3 条:样带 4,6 代表河田镇低山高丘景观;样带 5 代表河田镇中部河谷盆地景观. 纬线方向上设置 3 条样带:样带 1 代表策武乡低山景观;样带 2 代表河田镇地貌景观;样带 3 代表三洲乡、濯田镇盆地半山区景观,其选取的样带具有针对性和代表性.

2.2.2 小波尺度方差 设 $W(a,b)$ 为信号 $f(n)$ 在尺度 a ,位置 b 上的小波变换系数,定义该尺度上的小波尺度方差为

$$V(a) = \frac{1}{n} \sum_{b=1}^n |W(a,b)|^2.$$

小波尺度方差表示所有位置的数据在给定尺度的小波分解下,小波系数离开平均位置的量度,用来检验全局结构. 小波系数是在一定研究尺度下,信号局部变异特征强度的度量. 根据小波系数计算得出:小波方差越大,表明该尺度上结构信息越丰富,可以揭示特征尺度或监测突变信息^[15]. 因此,利用小波尺度方差可以辅助研究尺度选择或揭示空间格局的特征尺度.

2.3 多元统计分析方法

采用逐步回归分析确定对水土保持措施布局贡献比较显著的影响因子,用水土保持措施与空间分

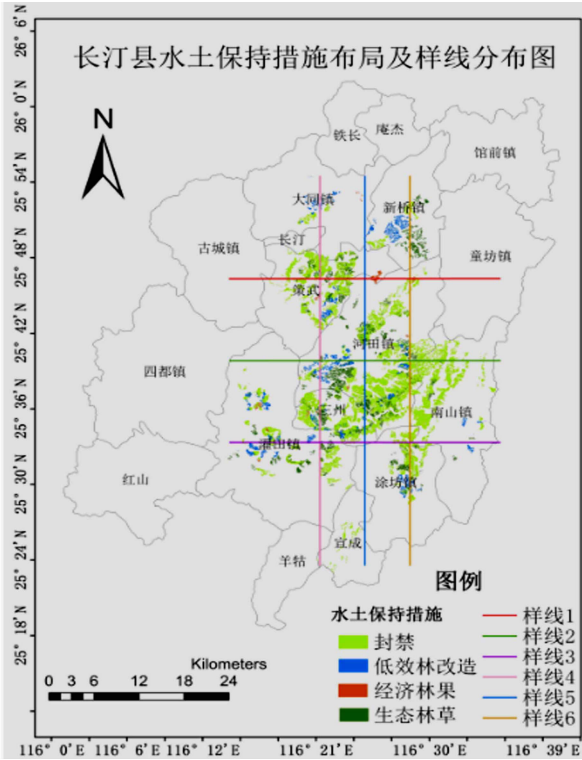


图 1 研究区 2004—2013 年水土保持措施空间分布及其样带位置图

Fig. 1 Map of spatial distribution of soil and water conservation measures in study area and location of sample between 2004 and 2013

布关系密切的影响因子建立多元线性回归模型,如下式所示,即

$$\text{Measure}_{i,c} = \beta + \beta_1 \cdot \text{Fact}_{i,1} + \beta_2 \cdot \text{Fact}_{i,2} + \cdots + \beta_n \cdot \text{Fact}_{i,n}.$$

式中:Measure_{*i,c*}为矢量网格单元*i*中水土保持措施*c*所占的面积百分比;Fact_{*i,n*}为影响因子*n*在矢量网格单元*i*中的归一化值或面积百分比;β_{*n*}为影响因子*n*的标准化回归系数.

考虑到回归模型的简便性,增加更多的影响因子模型的解释能力变化不大.以 0.05 的显著性水平作为选择标准,选取在逐步回归分析中贡献最大的前 9 种影响因子或分量.建立某一类型水土保持措施与不同作用范围的影响因子之间的回归方程,利用标准化回归系数衡量回归方程中各自变量对因变量的相对重要性这一特性,判断影响因子对该类型的水土保持措施空间分布相对重要的作用范围.

3 结果与分析

3.1 水土保持措施空间分布格局的特征尺度检测结果

分别对 6 条样带数据进行小波细节系数的提取和小波方差的计算,检测长汀县不同地理位置的水土保持措施空间格局的特征尺度及变化特点.小波方差变换曲线对比,如图 2 所示.图 2 中:var 为小波方差值,*s* 为尺度.

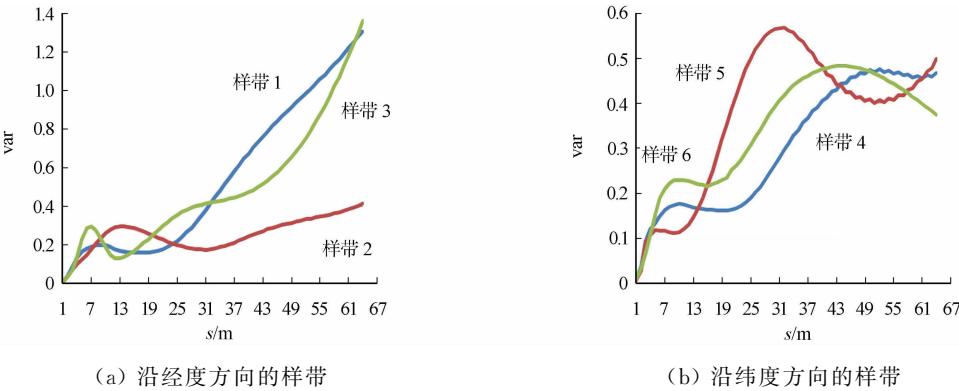


图 2 小波方差变换曲线对比

Fig. 2 Variance curve of wavelet transformation line in longitudinal direction

由图 2 可知:沿纬线方向 3 条样带的小波方差变换曲线的走势比较一致,样带 1~3 小波方差在移动窗口为 7~14 个网格单元单位时达到局部极大值.因此,小波方差局部极大值所对应的尺度可作为水土保持措施空间格局的特征尺度.之后,小波方差突然变大,这是由于尺度上推而产生的信息合并,不能算为特征尺度.若空间格局中存在两个或多个相邻的特征尺度时,应该将其特征尺度看作一个尺度范围,即一个特征尺度域.按照每个单元 30 m 粒径,可以将 210~420 m 作为沿纬线方向上样带 1~3 代表的水土保持措施空间分布格局的特征尺度域.

沿经线方向上的特征尺度出现在两个不同的尺度范围内,可能是因为长汀县境内的河流流向大多是南北方向,导致地块破碎程度比较严重,在不同的尺度上表现出的特征信息不同.沿经线方向上的水土保持措施空间分布格局的特征尺度域大致在 150~300 m 和 900~1 500 m 范围内.

3.2 水土保持措施空间分布主要影响因子多尺度分析

空间分布的主要影响因子在不同聚合规模尺度上的标准化回归,如图 3 所示.图 3 中:coef 为主要影响因子.考虑到研究区的面积范围及通过平均聚合生成多尺度序列数据图层,选取 150~420 m 为特征尺度域,以 30 m×30 m 的矢量网格单元平均聚合法分别生成 150 m×150 m~420 m×420 m 等一系列以 30 m 为尺度间隔的聚合规模序列数据图层,将其作为多尺度分析的数据图层.

3.2.1 封禁措施空间分布主要影响因子多尺度分析 由图 3(a)可知:1) 轻度流失区、高植被覆盖区、大于 0.75 的植被覆盖度、25°~35°范围内的坡度、离村庄居民点的距离是封禁措施空间分布的重要因子,并且这种强的作用随着尺度的增加而增大;2) 在小于 30% 的植被覆盖度与封禁措施之间拟合的标准化回归系数为负,在 0.75~1.00 之间则为正,说明 0.75~1.00 范围内适宜实施封禁措施,植被覆盖度小于 0.3 对封禁措施的实施有强烈的抑制作用;3) 在 25°~35°范围内,坡度因子对封禁措施空间分

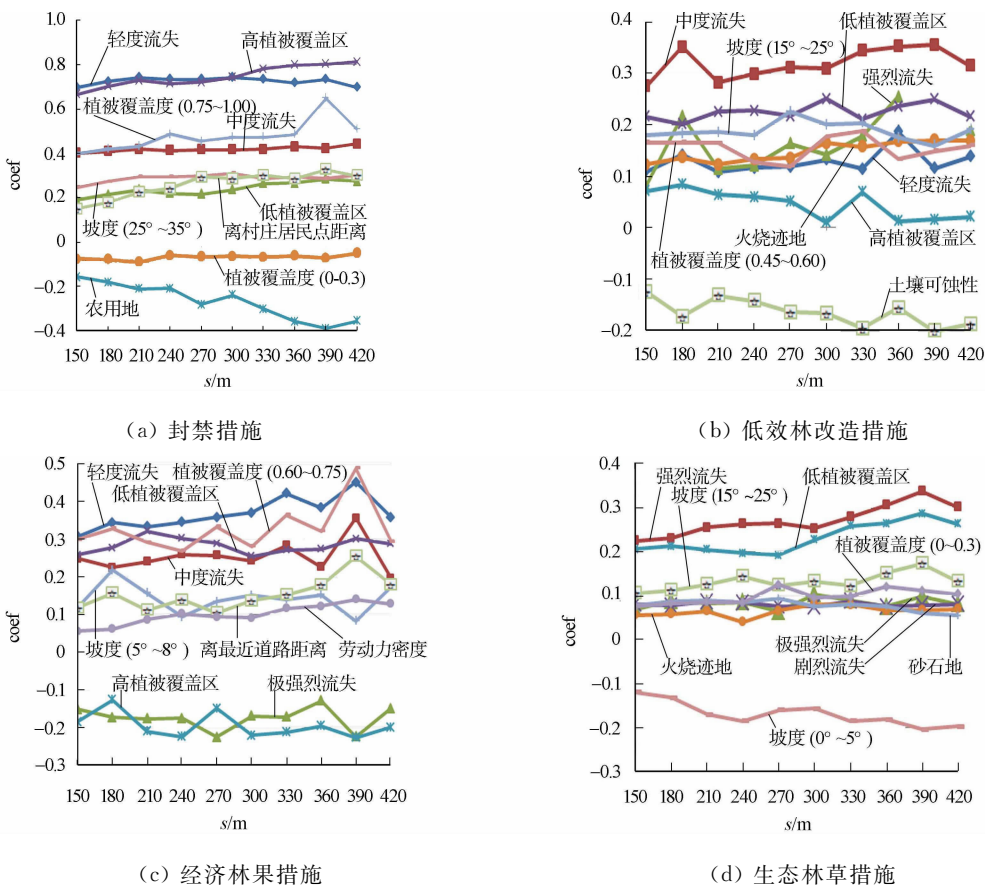


图 3 空间分布的主要影响因子在不同聚合规模尺度上的标准化回归

Fig. 3 Standard beta of main impact forces of regression models of economic fruit

布的影响程度最大,并且在研究尺度范围内较稳定,离村庄居民点的距离因素与封禁措施拟合的标准化回归系数为正,说明离村庄居民点的距离越远越适宜实施封禁措施,弱化人为因素对生态环境的破坏;

4) 与中度流失区相比,轻度流失区对封禁措施空间分布影响程度最大。

根据标准化回归系数的大小与正负,可以得出封禁措施空间分布适宜的地区主要分布在轻度流失区、立地条件好的中度流失区、植被覆盖度大于 0.75,生长良好的地区及离村庄居民点较远的地区。

3.2.2 低效林改造措施空间分布主要影响因子多尺度分析 由图 3(b)可知:1) 水土流失强度的中度流失、土壤可蚀性因子均为低效林改造空间分布的重要因子,其影响程度随尺度增加呈波动性变化且有增强的趋势;2) 土地利用类型的低植被覆盖区,其影响程度在特征尺度域内随着尺度的增大趋于稳定;3) 在 15°~25°范围内的坡度和 0.45~0.60 范围内的植被覆盖度对低效林改造措施的影响程度较大,并且这种影响程度随着尺度增大趋于稳定。

从上述分析可以看出:低效林改造措施的实施一般会选择立地条件较差的中度流失区及立地条件好的强度流失区;为防止土壤侵蚀,植被覆盖度较高,适宜区间在 0.45~0.60 范围内;坡度的适宜区间在 15°~25°范围内。

3.2.3 经济林果措施空间分布主要影响因子多尺度分析 由图 3(c)可知:水土流失强度的轻度流失、0.60~0.75 范围内的植被覆盖度、离最近道路距离、农村劳动力密度均是影响经济林果空间分布的重要因子,并且影响程度随尺度的增大呈波动增强的趋势;其次,土地利用类型的低植被覆盖区及 5°~8°范围内的坡度,其影响程度随着研究尺度的增加而趋于稳定。

通过标准化回归系数的大小和正负可以得出:经济林果空间分布适宜地区位于轻中度水土流失区,一般选择坡度为 5°~8°的缓坡度,要求交通便利,劳动力密度较大;土地利用类型中的低植被覆盖区适宜实施经济林果,植被覆盖度较大,利于保持水土及减少土壤养分的流失。

3.2.4 制约生态林草措施空间分布主要影响因子多尺度分析 由图 3(d)可知:水土流失强度的强烈流失、15°~25°坡度及土地利用类型中的低植被覆盖区均为影响生态林草措施空间分布的重要因子,其

影响程度随着研究尺度的增大呈增强的趋势. 小于 0.30 范围内的植被覆盖度也是影响生态林草空间分布的主要影响因子之一,其影响程度随着研究尺度的增大趋于稳定.

由标准化回归系数的大小和正负可以看出:长汀县生态林草措施的空间分布一般选择在强烈、极强烈及剧烈的流失斑,较适宜在 15°~25°坡度范围内;植被覆盖度小于 30%的流失地块包括低植被覆盖区、火烧迹地、砂石地等疏林地.

4 结 论

通过构建水土保持措施与不同作用范围的影响因子之间的多元回归模型,分析探讨了主要影响因子及随研究尺度的变化情况.从标准化回归系数随研究尺度的变化直观看出:水土保持措施的类型不同,其空间分布的主要影响因子的作用范围有所不同,并且反映适宜水土保持措施空间分布主要影响因子的作用范围.

不同的分析尺度会影响对于给定变量的解释,脱离尺度的任何解释是没有意义.因此,识别空间分布格局的特征尺度,既可以避免分析尺度选取的随意性,又兼顾到选取研究尺度上结构信息丰富.以 30 m×30 m 小尺度平均聚合生成一系列较大尺度规模序列数据,便于在多尺度上,全面研究制约水土保持措施空间分布的主要影响因子及其在特征尺度范围内随尺度增大的变化情况;标准化回归系数在多元线性回归中被用来衡量变量间的相对重要性,可以直观地判定影响水土保持措施空间分布的主要因子及其适宜水土保持措施空间分布的影响因子作用范围.

由于只选取一小段尺度区间(特征尺度域)进行研究,尺度区间范围较小,因此,得到的影响因子及其分量的标准化回归系数随着尺度的变化幅度较小,不能宏观地把握影响因子在大中尺度对水土保持措施空间分布影响程度的变化情况.

参考文献:

[1] 李锐. 中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究[J]. 水土保持通报,2011,31(5):1-5.

[2] 邱炳文. 福建省龙海市土地利用空间分布影响因子的尺度效应分析[J]. 自然资源学报,2007,22(1):70-78.

[3] 邱炳文,王钦敏,陈崇成,等. 福建省土地利用多尺度空间自相关分析[J]. 自然资源学报,2007,22(2):311-321.

[4] CHEN K,BLONG R. Identifying the characteristic scale of scene variation in fine spatial resolution imagery with wavelet transform-based sub-image statistics [J]. International Journal of Remote Sensing,2003,24(9):1983-1989.

[5] 蔡博峰,于嵘. 景观生态学中的尺度分析方法[J]. 生态学报,2008,28(5):2279-2287.

[6] 孙丹峰. IKONOS 影像景观格局特征尺度的小波与半方差分析[J]. 生态学报,2003,23(3):405-413.

[7] KEITT T H,URBAN D L. Scale-specific inference using wavelets[J]. Ecology,2005,86(9):2497-2504.

[8] 胡云锋,徐芝英. 蒙古高原地形与植被指数的特征尺度及多尺度耦合关系[J]. 地理科学,2014,34(12):1511-1517.

[9] 傅丽华,谢炳庚,何燕子,等. 基于小波分析长株潭核心区土地利用变化尺度特征研究[J]. 地理科学,2012,32(1):60-65.

[10] 陈江平,韩青,胡晶,等. 顾及小波变换的土地利用变化与经济因子的多尺度相关性分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2013,38(9):1118-1121.

[11] KASPER K,VELDKAMP A. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in central America [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2001,85:205-221.

[12] WALSH S J,CRARAWFORD T W,WELSH W F,et al. A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong District, ort-heast Thailand [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2001,85:47-64.

[13] 王合玲. 艾比湖流域土壤有机质与影响因素响应研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2013:57-60.

[14] 查轩,黄少燕,陈世发. 退化红壤地土壤侵蚀与坡度坡向的关系:基于 GIS 的研究[J]. 自然灾害学报,2010,19(2):32-39.

[15] 邱炳文,随银坡,陈崇成. 南方丘陵山区典型地物景观特征尺度研究[J]. 自然资源学报,2010,25(11):1970-1977.

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 吴逢铁)