

# 基于小波分析长株潭核心区土地利用 变化尺度特征研究

傅丽华<sup>1,2</sup>, 谢炳庚<sup>1</sup>, 何燕子<sup>2</sup>, 仇应山<sup>1</sup>, 朱 康<sup>1</sup>

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081; 2. 湖南工业大学商学院, 湖南 株洲 412008)

**摘要:** 根据长株潭核心区1989~2008年4期遥感影像数据资料,提取区域土地利用变化数据。以湘江样带为典型研究区,运用小波分析方法对样带内的典型样线进行分析,得到时间及位置变化对土地利用特征尺度值的差异。分析结果表明,长株潭核心区不同部位的特征尺度选择不是唯一的,具有不同的尺度敏感性。长株潭城市建成区土地利用类型最为单一,对于尺度变化最不敏感,适宜采用3 300 m左右的平均粒径为特征分析尺度;城市边缘区土地利用变化的尺度敏感性最强,特征尺度采用1 980 m左右的分析粒径为宜;长株潭生态绿心区域对土地利用变化的尺度敏感性较强,以3 060 m的平均粒径为特征尺度。

**关键词:** 土地利用变化; 尺度; 小波分析; 长株潭核心区

**中图分类号:** F59

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2012)01-0060-06

长沙、株洲、湘潭三市是长株潭城市群最重要的组成部分,也是湖南省经济发展的核心增长极,近年来经济社会一直保持快速发展的态势。城市化的快速推进是长株潭核心区土地利用结构及功能显著变化的最主要原因,研究区域土地利用变化对促进土地利用与城市环境、经济、社会等协调发展,满足人类需求与生态保护的需要具有积极意义<sup>[1]</sup>。

典型样带选择是分析土地利用变化的关键。将样带选择与尺度特征相结合,对深入了解城市群土地利用结构变化特征具有积极作用。样带研究是通过梯度方法研究温度、降水和土地利用变化等因子阐释全球变化问题最有效的研究途径<sup>[2]</sup>,也是通过尺度特征分析,有效判别城市群土地利用变化的有效途径之一。国内学者在样带选择的方法与研究内容方面做了有益的尝试。龙花楼、康慕谊选择了长江沿线及东北样带开展了大尺度样带生态梯度及经济梯度等方面的相关研究<sup>[3,4]</sup>,龚建周、张景华、吴志峰、汪自书等研究了城市样带的土地覆被景观变化特征与规律<sup>[5-7]</sup>。小波分析方法为中小尺度样带的景观动态及尺度特征研究提供了强有力

的支持,作为20世纪90年代开始兴起的一种可用于多尺度分析的数学工具,尤其擅长从频率或尺度的角度分析格局,将时空格局与不同尺度以及具体的位置相联系,在生态学领域有着广泛的应用。国内外学者将该方法应用于森林林隙结构变化、径流变化、生态交错区景观结构<sup>[8-10]</sup>、城乡景观梯度变化及尺度特征识别分析等相关研究<sup>[11-15]</sup>。

相关研究在探索城市土地利用变化规律及景观特征方面有一定突破,但对城市群土地利用变化尺度特征并未引起关注。运用小波分析方法研究长株潭核心区土地利用变化的尺度特征,判断研究区域土地利用变化的空间异质性及尺度敏感性,为进一步掌握区域土地利用变化的驱动机制,分析景观变化的尺度响应提供重要依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据采集与处理

本文采用1989~2008年4期长株潭地区 Landsat TM 遥感影像数据为主要来源,分辨率为30 m,数据采集范围为长沙、株洲、湘潭三市辖区,及长

**收稿日期:** 2011-06-16; **修订日期:** 2011-11-09

**基金项目:** 湖南省教育厅优秀青年项目(11B036)、湖南省国土厅2010年科学研究项目(2010-23)、湖南省科技厅软科学研究课题(2009zk3165)资助。

**作者简介:** 傅丽华(1971-),女,湖南永州人,副教授,博士研究生,主要从事景观生态与土地利用研究。E-mail: lihuaf88@163.com

**通讯作者:** 谢炳庚,教授。E-mail: xbgbyb@sina.com

沙县、望城县、湘潭县、株洲县等4县,总面积为8 642.148 km<sup>2</sup>。根据研究区景观特征的光谱信息,对遥感数据进行解译,将研究区内土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用土地等6种类型,并运用Envi4.7、ArcGIS9.2、MATLAB R2007等相关软件进行相关数据的分析与处理。

本文根据获取的1989、1996、2000、2008年4期遥感影像数据,在Envi4.7软件支持下对原始数据进行解译,获得不同时期的长株潭核心区土地利用现状数据,根据数据对比分析,可以得出景观格局与土地利用变化最快的时段是2000~2008年,其次是1996~2000年(表1)。

**表1 1989~2008年长株潭核心区土地利用面积变化**

	Table 1 Land use change of core area in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan in 1989-2008		
	1989~ 1996年	1996~ 2000年	2000~ 2008年
林地 (km <sup>2</sup> )	-7.658	13.077	-16.951
草地 (km <sup>2</sup> )	0.094	-0.544	0.299
水域 (km <sup>2</sup> )	-0.174	-2.238	1.122
耕地 (km <sup>2</sup> )	-0.106	-18.290	-39.897
建设用地 (km <sup>2</sup> )	8.730	7.704	55.615
未利用土地 (km <sup>2</sup> )	-1.548	0.287	-0.178

## 1.2 样带选择

长沙、株洲、湘潭表现为沿湘江呈“品”字形分布格局,选择贯通长沙、株洲、湘潭3市主城区的湘江段为样带,研究长株潭核心区土地利用变化。该区域既有区域土地利用变化的一般特点,也有快速城市化地区土地利用的典型特点,是研究城市群土地利用变化特征的最佳单元。数据分析结果表明,研究区域耕地和建设用地面积变化最大,建设用地增长最快,耕地流失的数量和速度惊人,林地流失的速度仅次于耕地(图1)。不同时段土地利用变化程度具有明显的差异,土地利用空间转移最为明显的区域在流经三市主城区及结合部的湘江岸线两侧。

## 1.3 小波分析

小波分析于揭示空间格局的多尺度和等级结构<sup>[16]</sup>。根据土地利用变化空间格局特征,确定最大带宽为30 km、长度为120 km的湘江岸线为样带,并将该区域作为土地利用变化特征尺度分析的最佳单元,通过小波分析方法对提取遥感影像图的

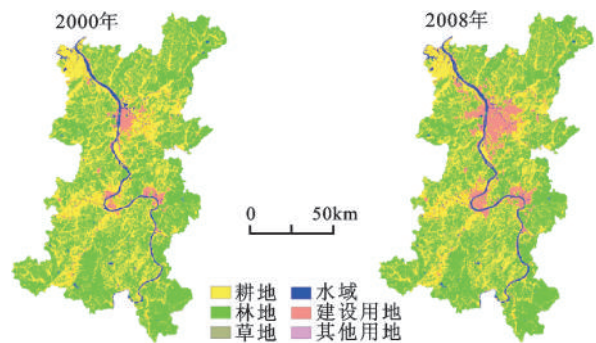


图1 2000~2008年土地利用变化及样带选择

Fig. 1 Land use change and transect selection in 2000-2008

纹理特征进行数据分析,将土地利用变化特征与尺度关系进行数学表达,采用恰当的基小波将数据转变为尺度(移动窗口的大小)和具体空间位置的函数,分析小波则视为具有固定边长的移动“窗口”,沿着数据样带尺度单元滑动,当样带中出现与小波相似的结构时,小波转换值较高,否则小波转换值则低,一定分解尺度下的小波方差反映了各尺度特征的分布规律及空间位置的对应关系。小波分析的关键步骤主要有两个,一是根据遥感影像资料提取并处理土地利用景观类型的相关遥感数据信息,二是选择小波基并求解小波方差最大值。不同类型的基小波擅长于不同的景观研究区域,常用的Morlet基小波及Mexican Hat基小波适宜于分析城市景观及城郊特征尺度景观检测<sup>[14]</sup>,根据小波分析输出结果确定小波方差最大值对应的分解尺度即为特征尺度。

### 1.3.1 信息提取

选取研究起始期初1989年及期末年2008年两期遥感影像数据,在Envi4.7软件支持下对经过纠正后的遥感影像进行主成分分析,首先将多波段图像转化为单波段灰度图像,筛选后获取第一主分量(PCI)的信息,然后在长、株、潭三市研究样带区域内的PCI图像上截取1 600行×2 200列的子区,考虑景观多样性的特点,在子区图像中选取能反映不同区域土地利用变化及景观特征的纵向样线一条,并截成北、中、南三段,对两个时期的样线图像DN值(即灰度值)数据的高频信号进行一维连续小波分析(图2)。该样线对应于1989年的城市边缘区、中心城区及长株潭城市群结合部的生态绿心区域,但同样的位置则对应于2008年的城市建成区及生态绿心区域,从样线所反映的景观多样性特征角度分析,1989年样线更具代表性。



图2 小波分析样线选择

Fig. 2 Sketch map of transect line selection

### 1.3.2 求解小波方差

在MATLAB软件支持下完成小波变换这一关键过程。选择Morlet小波为基小波,对变量小波方差最大值根据样线长度分别进行指定尺度的小波分解,并形成曲线图。图中的横坐标最大数值标明为350个像元数,表示最大分解尺度为350个像元数,如果最大分解尺度为300个像元数,则最大值相应调整为300个像元。小波方差(wavelet variance)是一定分解尺度下各个通道图像相应像素小波系数的平方和。以尺度和小波方差作图,通过图示法可以反映不同尺度的景观结构特征及相互关系,进而帮助有效识别景观格局不同尺度上的特征尺度。对应尺度上小波方差越大,小波的波峰值区间越明显,表示该尺度上结构信息越丰富,由此可以确定当前景观结构的主要特征尺度值。

## 2 结果分析

### 2.1 长株潭核心区土地利用变化的特征尺度检测结果

根据对研究起止时段1989年与2008年遥感数据的提取,以典型样线进行小波分析,检测出城市群不同部位的景观特征尺度值及变化特点,不同时间与样线的小波方差变化曲线见图3、图4及图5。

小波分析结果显示,1989年样线北段小波方差在移动窗口为66个像素单位时为最大值,2008年样线北段小波方差在移动窗口为257个像素单位时为最大值(图3),按照30 m粒径每个单元,可以判断1 980 m和7 710 m平均粒径幅度为1989年

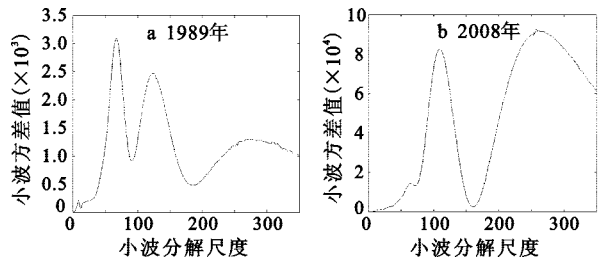


图3 1989、2008年样线北段小波方差变换曲线对比

Fig. 3 Variance curve of the northern transect line in 1989 and 2008

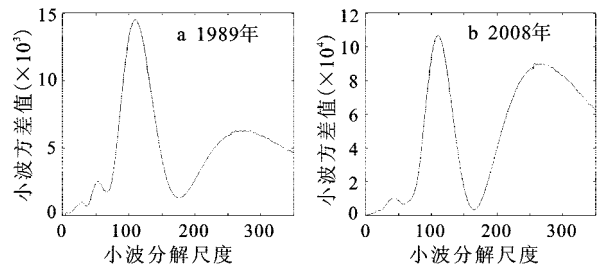


图4 1989、2008年样线中段小波方差变换曲线对比

Fig. 4 Variance curve of the middle transect line in 1989 and 2008

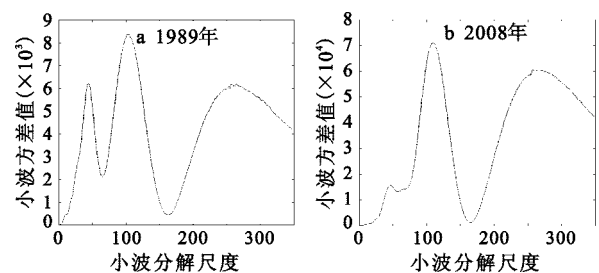


图5 1989、2008年样线南段小波方差变换曲线对比

Fig. 5 Variance curve of the southern transect line in 1989 and 2008

及2008年的特征尺度值。由于同一位置在2008年已成为城市建成区,因此,选择1989年的样线北段1 980 m平均粒径幅度作为城市边缘区景观的特征尺度值。

样线中段表达的是长株潭城市建成区的景观特征。1989年与2008年小波方差在移动窗口均为110个像素单位时为最大值。可以判断3 300 m平均粒径幅度为特征尺度值(图4)。

样线南段表达的是不同时期长株潭城市群生态绿心区域的景观特征,1989年样线南段小波方差在移动窗口为102个像素单位时为最大值,3 060 m平均粒径幅度为特征尺度值;2008样线南段的小



波方差在移动窗口为109个像素单位时为最大值,3 270 m平均粒径幅度为特征尺度值(图5)。

## 2.2 长株潭核心区土地利用特征尺度变化规律

尺度特征值的变化与区域土地利用变化程度密切相关。对同一样线的不同研究时段土地利用变化的空间尺度特征的分析结果显示,1989年样线北段以1 980 m平均粒径幅度为特征尺度值,而同一空间位置2008年数据显示特征尺度值为7 710 m。由于近20 a长株潭核心区土地利用变化的主要驱动力是人为因素,随着城市化进程的快速推进,样线北段代表了城市边缘区向建成区转变的典型区域土地利用结构变化。由于建成区土地利用变化的尺度敏感性较差,因此特征尺度值表现出显著增大;样线中段在两个研究时段的特征尺度均为3 300 m,表明该区域的土地利用结构基本未改变,对尺度特征值无明显影响;样线南段代表的以自然景观为基底的长株潭核心区生态绿心区域由于人为因素干扰对区域土地利用结构变化及自然景观变化的影响程度较小,因此尺度值未发生明显的变化。

## 2.3 长株潭城市群核心区土地利用变化分析具有多尺度敏感性

不同区域土地利用变化的特征尺度有较明显差异。长株潭核心区土地利用结构呈现明显过渡变化的特点,不同研究区域或研究部位的土地利用及景观格局变化对特征尺度选择有一定影响。城市建成区由于土地利用较为单一,对于尺度变化最不敏感。建成区土地利用变化的特征尺度值最大,说明城区受社会经济因素及体制政策因素驱动的土地利用变化的特征尺度表现为较为宽幅的响应特征。城市边缘区的土地利用变化受城市和乡村的共同影响,自然及社会经济驱动因素共同作用,景观变化具有最强的尺度敏感性特征。长株潭城市群生态绿心区域土地利用类型较为多样,以自然因素驱动为主,但人为影响对区域景观本底也有着较明显的影响,也是土地利用变化尺度较为敏感的区域。

## 3 结论与讨论

城市群土地利用变化受多种因素的影响,对各种驱动因素作用及影响的特征尺度分析将是深入了解土地利用变化机理,并提出相应调控策略的关键所在。本文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,运用小波分析方法分析土地利用变化的尺度特征,探求样带内不同尺度下各种驱动因子的作用机制,以及对土地利用变化的影响规律。从土地利用变化对区域生态安全格局的影响角度,提出针对性的区域生态风险调控策略,将对实现区域社会、经济、生态系统协调发展具有积极意义。

## 3.1 典型样带选择是土地利用尺度特征判断的关键

本研究区所包括的长沙、株洲、湘潭三市及其结合部,沿湘江两岸是土地利用变化最为明显的地区,选择湘江样带进行土地利用的尺度特征分析,有助于了解区域土地利用变化的显著差异性,对掌握城市群空间结构特征及土地利用变化规律有着积极的作用。

结合不同年度的土地利用数据及图1,研究区域耕地和林地转化为建设用地的量最大。根据样带选择的结果及表1可以发现,不同时段土地利用变化程度具有明显的差异。数据对比分析显示,研究区域土地利用变化最快的时段是2000~2008年,其次是1996~2000年。这种变化与城市化的快速推进,长株潭核心区经济发展速度不断加快,区域土地利用开发利用程度不断提高均有密切关系。其次,不同土地利用类型的土地变化率差异明显。区域土地利用变化的空间转移表现为城市边缘区土地利用变化最快,各类型用地中耕地和建设用地的面积变化最大,建设用地增长最快,耕地流失的数量和速度惊人,林地流失的速度仅次于耕地。长株潭城市群快速扩张,经济社会驱动因子的驱动作用是大量的耕地和林地转化为建设用地的根本原因。

## 3.2 不同尺度水平下土地利用驱动力作用对特征尺度判断的影响

社会经济因素是长株潭核心区土地利用结构变化的主要驱动力,对不同尺度下土地利用变化驱动力分析是判断土地利用变化的关键。微观土地利用行为、宏观政策与措施、各种生物与非生物因子都能成为土地利用变化影响因子。不同尺度水平下土地利用影响的驱动力作用有明显差异,多尺度水平的多驱动因子作用机制分析对掌握土地利用变化规律有较大的作用。随着长株潭城市群建设和发展的步伐加快,宏观尺度下快速城市化背景的体制政策作用日益成为区域土地利用及

覆被变化的主导因素,但区域人口增长速度、经济发展速度、居民消费水平等中观尺度因子对区域土地利用结构变化有着决定性的影响,如城市群发展规划及布局调整、城市群交通网络构建等微观土地利用行为如何协调,将是尺度变化驱动因素分析的关键所在。

### 3.3 土地利用变化驱动力的尺度响应差异

土地利用变化分析尺度与具体时间、空间位置有紧密联系。研究表明,不同景观特征的研究部位的主导驱动因子尺度响应具有一定的空间差异化特征,并直接影响对土地利用变化分析的特征尺度判断。从分析中可以得出,单一驱动因素主导的区域土地利用变化尺度特征值变化较小,如长株潭三市的城市建成区及长株潭结合部的生态绿心区域。自然因素为主导驱动力的区域土地利用变化尺度特征值较小,人为驱动力为主的区域土地利用变化尺度特征值大。城市边缘区作为受自然和人为驱动因素强烈干扰的区域,其土地利用变化的尺度敏感性最强;城市建成区土地利用结构较为单一,主要由于人为因素对土地利用结构产生突出的影响,其土地利用变化的景观特征尺度变化表现为最低的尺度敏感性。

### 3.4 讨论

尺度是景观空间异质性表达的重要基础,当前多尺度问题已成为景观地理建模的理论核心,运用小波分析方法解决景观多尺度模拟,将更有助于揭示景观格局与过程发展变化的规律,在土地利用覆被变化研究与景观生态学研究方面将会有更广阔的应用前景。

小波分析作为进行特征尺度研究的一种新方法,对研究生态系统的空间异质性格局的测量尺度提供了更为可信的依据,有效地解决了尺度选择的随意性,是中尺度区域土地利用变化研究的有效分析方法之一。从目前的研究来看,一维小波分析方法只能通过选取样带或样条的方式进行尺度分析,如果样带选取不具典型性和代表性,以及多种人为因素的影响,可能会在一定程度影响小波分析的结果。因此,运用小波理论并选择二维小波进行分析,比较不同小波基的适用特征,结合所要研究的问题进行选择优化,充分发挥数学等其他学科的优势解释特征尺度,尝试采用更优的采样与分析方法都将是今后研究的主要内容。

由于不同区域土地利用变化驱动因子的尺度

敏感性差异,对驱动力分析还应特别考虑尺度敏感性分析的变量选择,以更好判断主导作用因子。运用模型模拟土地利用变化的空间尺度敏感性特征<sup>[17]</sup>分析,以更好掌握土地利用变化的作用机理,确定何种尺度的空间格局能决定相应的生态过程,如何加强土地利用变化导致的结构性生态风险的空间尺度特征及变化规律研究,探求景观格局及其空间变异特征<sup>[18]</sup>,寻找科学决策区域土地利用生态风险调控的方法,都是今后需关注的重点问题。

### 参考文献:

- [1] 李秀彬.对加速城镇化时期土地利用变化核心学术问题的认识[J].中国人口、资源与环境,2009,19(5):1~5.
- [2] 张新时,杨奠安.中国全球变化样带的设置与研究[J].第四纪研究,1995,15(1):43~52.
- [3] 康慕谊,江源,石瑞香. NECT样带1984~1996土地利用变化分析[J].地理科学,2000,20(2):115~120.
- [4] 龙花楼,李秀彬.长江沿线样带土地利用格局及其影响因子分析[J].地理学报,2001,56(4):417~425.
- [5] Gong Jianzhou, Liu Yansui, Xia Beicheng. Spatial heterogeneity of urban land-cover landscape in Guangzhou from 1990 to 2005 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(2): 213-224.
- [6] 张景华,吴志峰,吕志强,等.城乡样带景观梯度分析的幅度效应[J].生态学报,2008,27(6): 978~984.
- [7] 汪自书,刘语凡,张文娟,等.深圳市典型城市化样带建设用地变化过程分析[J].资源科学,2009,31(5):794~800.
- [8] Bradshaw G A, Thomas A Spies. Characterizing canopy gap structure in forests using wavelet analysis[J]. Journal of Ecology, 1992, 80: 205-215.
- [9] Monica G Turner. Spatial and temporal analysis of landscape patterns[J]. Landscape Ecology, 1999, 4(1): 21-30.
- [10] Patrick M A James, Richard A Fleming. Identifying significant scale-specific spatial boundaries using wavelets and null models: spruce budworm defoliation in Ontario, Canada as a case study[J]. Landscape Ecol., 2010, 25: 873-887.
- [11] 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.
- [12] 黄桂芳,刘茂松,徐 驰,等.南京市城区景观特征尺度动态[J].应用生态学报,2008,19(3): 606~612.
- [13] 郁 文,刘茂松,徐 驰,等.南京市城市景观的特征尺度[J].生态学报,2007,27(4):1480~1488.
- [14] 李俊祥,王玉洁,沈晓虹,等.上海市城乡梯度景观格局分析[J].生态学报,2004,24(9):1973~1980.
- [15] 高艳妮,陈 玮,何兴元.基于二维小波分析的景观特征尺度识别[J].应用生态学报,2010,21(6): 1523~1529.
- [16] 郭建国.景观生态学—格局、过程、尺度与等级(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2007:139~140.
- [17] 赵冠伟,陈颖彪,陈健飞,等. CA-Markov模型的空间尺度敏感

性研究[J].地理科学,2011,31(8):897~902.

州省乌江流域为例[J].地理科学,2010,30(5): 742~747.

[18] 高江波,蔡运龙.区域景观破碎化的多尺度空间变异研究-以贵

## Scale Characteristics of Land Use Change in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Core Area Based on Wavelet Analysis

FU Li-hua<sup>1,2</sup>, XIE Bing-geng<sup>1</sup>, HE Yan-zi<sup>2</sup>, QIU Ying-shan<sup>1</sup>, ZHU Kang<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China;

2. College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan 412007, China)

**Abstract:** Changsha, Zhuzhou and Xiangtan, the key components of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration and the core growth pole of economic development in Hunan province, have been accelerating their economic and social development and their urbanization in recent years. Their high-speed urbanization is the main reason for the significant changes in the land use structures and functions in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan core area. Therefore, research of regional land use change will exert a positive and significant influence on enhancing the harmony among land use, urban environment, economic and social development, and helping satisfy the requirements both the human living and ecological protection. Wavelet analysis, which emerged in the 1990s, is a mathematical tool for multi-scale analysis. It specializes in land use pattern analysis from frequency and scale, linking spatio-temporal pattern with scale and location. This analysis, though widely applied in ecology, has never been adopted in exploring scale characteristics of land use change in urban agglomeration. It must be a significant attempt to adopt wavelet analysis in exploring the scale characteristics of land use change in the core area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan, for its results will help to explain the spatial heterogeneity and scale sensitivity and further, the driving mechanism in regional land use change, and provide an important basis for response analysis of the scale of landscape change. The research is carried on the relationship between time and location and land use change characteristics scale from a wavelet analysis on typical transect line of the belt along the Xiangjiang River as the typical land use region based on the data of land use change extracted from the remote sensing image data in four periods from 1989 to 2008. The result shows that the different degrees of sensitivity of each quarter of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan core area to scale change determine their selection in land use characteristic scale, which is supported by 1) The quarter around the city centre, which is of a relatively single land use type, is the least sensitive to scale change, thus about 3 300 m parcel analysis being the most appropriate; 2) The urban fringe quarter is the most sensitive to scale change, thus about 2 000 m parcel analysis being the most appropriate; and 3) The green heart of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan, the combination quarter of the three cities, is moderately sensitive to scale change, thus about 3 000 m parcel analysis being the most appropriate.

**Key words:** land use change; scale; wavelet analysis; Changsha-Zhuzhou-Xiangtan core area