

南京市九乡河流域土地利用程度空间异质性分析

胡和兵^{1,2}, 刘红玉^{1*}, 郝敬锋¹, 安静¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 池州学院 资源环境与旅游系, 池州 247000)

摘要: 定量分析九乡河流域土地利用程度及其空间异质性, 对确定该流域土地资源利用和保护方向、实现土地资源可持续利用具有重要意义。以2003和2009年2期遥感影像为基本信息, 利用空间自相关以及半变异函数分析方法, 探讨了2003-2009年九乡河流域土地利用程度的空间异质性特征, 结果表明: 流域土地利用程度的空间自相关表现出较强的正相关性, 且与尺度密切相关, 随着尺度的增大, 空间自相关性逐渐下降; 流域西北部的仙林大学城, 以及北部的石埠桥一带土地利用程度的较高, 南部的青龙山, 中部的灵山及北部的西湖公园一带土地利用程度较低。从2003-2009年, 九乡河流域的土地利用程度以较强土地利用程度为主, 占流域面积的40%左右; 受城市化过程的影响, 流域土地利用程度的空间异质性发生了较明显的变化, 流域土地利用程度呈现出向强和弱两极转化的趋势, 6年间分布面积分别增加1.13%、4.27%; 其中, 仙林大学城一带的土地利用程度增强, 且分布范围快速扩张, 而九乡河源头、下游的沿岸及西湖公园一带的土地利用程度有所降低。

关键词: 土地利用程度; 空间自相关; 半变异函数分析; 城市化; 九乡河

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00627

1 引言

土地作为一种资源, 人们不仅关注其面积变化, 还会关注其利用程度, 以及利用程度的变化^[1]。土地利用程度主要反映土地利用的广度和深度, 它不仅反映了土地利用中土地本身的自然属性, 同时也反映了人类因素与自然环境因素的综合效应^[2]。在人类活动占优势的城市化区域, 土地利用程度的高低在一定程度上也反映着城市化过程对地表生态系统干扰强度的大小。深入研究城市化区域土地利用程度空间分异及其变化, 有助于更好地发现区域土地利用中存在的问题, 确定区域土地资源利用与保护的方向^[3], 对城市化区域土地整理, 以及土地资源的可持续利用具有重要意义。

随着土地利用程度研究日益受到重视^[3], 一些学者采用类型模式或数量指标体系法, 针对全国^[4-5]、区域^[6-9]、城市^[10-12]以及流域^[13-14]等不同尺度, 开展了一系列的相关研究。但大多集中于以行

政区划为单元的区域土地利用程度总体特征的研究, 而对区域内部空间分布的依赖性和异质性的探讨相对不足^[15-16], 关于城市化地区流域土地利用程度空间异质性的研究较少。

九乡河流域位于南京市东郊, 流域中北部的仙林地区是南京市三大新市区之一, 是南京都市发展区内的区域副中心, 也是南京新经济发展的主要空间。经过短短几年的发展, 地区城市化和城市现代化水平明显提高, 仙林地区也从一个城市郊区发展成为一个国内一流的开放型、生态型大学城。伴随南京市快速城市化过程^[17-19], 流域土地利用也随之发生了明显变化^[20-21]。相比于区域, 流域是地球表层相对独立的自然综合体。以流域为单元进行综合研究与管理是实现资源开发与环境保护相协调的最佳途径。因此, 本文在参考前人研究成果的基础上, 以快速城市化的九乡河小流域为研究区域, 运用遥感、GIS技术以及空间统计学方法, 开展土地利用程度的空间异质性进行分析, 可为城市化进

收稿日期: 2012-04-24; **修回日期:** 2012-09-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871084、41071337); 江苏省“青蓝工程”项目(184080H10240); 江苏省高校优势学科建设工程项目; 安徽省自然科学研究项目(KJ2012A208)资助。

作者简介: 胡和兵(1973-), 男, 博士研究生, 主要从事城市湿地景观生态以及GIS/RS的应用研究。

E-mail: huhebing@163.com

*** 通讯作者:** 刘红玉(1963-), 女, 博士, 教授, 博导, 主要从事景观生态研究。E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

程中九乡河流域土地资源的合理利用提供参考。

2 数据源与研究方法

九乡河流域(118°52'~119°1'E, 32°1'~32°10'N)位于南京市东郊(图 1), 南北长约 18km, 总面积 106.21km²[21]。九乡河流域地貌类型多样, 大致可分低山丘陵区、岗地区和平原区 3 类。属北亚热带湿润气候带和季风环流的海洋性气候区, 季风显著, 冬冷夏热, 四季分明, 日照充足, 水资源充沛。流域北部有“金陵第一明秀山”栖霞山, 以及以发展高等教育和高新技术产业为主的仙林新市区, 中部是广大的农业种植区, 而流域南部拥有丰富的旅游资源, 如被誉为南京东郊的避暑胜地的龙尚湖风景区, 久负盛名的汤山温泉等。2003-2009 年, 随着仙林新市区范围的逐步扩张, 流域北部大量的自然和农业景观被改造成人工景观。致使流域耕地面积减少了 15.4%, 建设用地的面积增加了 8.0%。流域的优势景观类型也从 2003 年的耕地+林地, 转变为 2009 年的建设用地+林地, 流域景观显现出强烈的快速城市化特征。

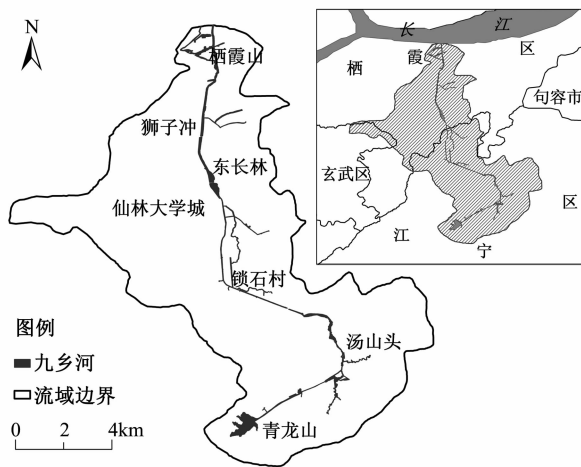


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area

2.1 数据来源及处理

以 2003 年 6 月和 2009 年 6 月两期 Quick Bird 影像为基础信息, 首先, 以南京市 1:50 000 地形图为参考图像进行几何精校正, 使残差小于 0.5 个像元, 在此基础上, 进行辐射定标和大气校正, 然后, 在 ArcGIS 9.3 软件环境下对遥感影像进行人工目视解译制图。投影为横轴墨卡托投影(Transverse

Mercator), 参考的椭球体为 Krasovsky。本文将研究区的土地利用类型分为 7 种类型(图 2)。依据典型性和代表性的原则, 在每个土地利用类别内选择一定数量的感兴趣区进行野外 GPS 定位识别, 然后选择混淆矩阵法对感兴趣区域进行精度检验。2 期影像的总体精度分别达到 97.33%、98.85%。

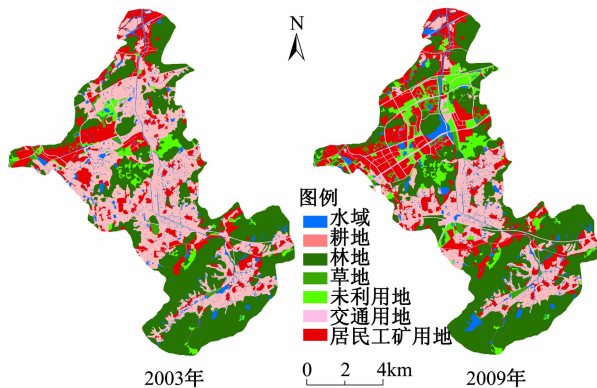


图 2 九乡河流域土地利用图

Fig. 2 Map of land use in Jiuxiang River watershed

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用程度指数

根据刘纪远等提出的数量化土地利用程度分析方法[5], 将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下自然平衡保持状态分为 4 级, 并分级赋予指数, 计算公式为:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^4 A_i \times S_i / S \quad (1)$$

式中, L 为某研究区域土地利用程度综合指数; A_i 为研究区域第 i 级土地利用程度分级指数; S_i 为研究区域内第 i 级土地利用面积; S 为该样区土地总面积。4 种土地利用程度的分级赋值分别为: 未利用地或难利用地赋值 1, 林地、草地和水域赋值 2, 耕地、园地和人工草地赋值 3, 城镇、居民点、工矿用地和交通用地赋值 4[5]。

为了将流域土地利用程度指数有效空间化, 在考虑研究区 2 期土地利用景观平均斑块大小的基础上, 本研究采用 0.2km×0.2km 的格网对 2 期流域土地利用图进行等间距系统采样, 各获得完整采样格网 2449 个。分别计算每一格网的土地利用程度指数, 以此作为格网中心点的土地利用程度值。

2.2.2 空间统计分析方法

(1) 空间自相关分析方法

空间自相关分析是检验具有空间位置的观测值之间是否关联的一种方法,分全局自相关和局部自相关^[22-23]。全局自相关揭示的是整个区域的空间关联模式,用单一值来反映其自相关程度;局部空间自相关揭示每一个空间单元与邻近单元相关程度^[24]。表示空间自相关的指标和方法很多,其中,最常用的是 Moran's I 指数^[25]。全局 Moran's I 指数和局部 Moran's I_i 指数(LISA)的计算公式分别为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sum_j (x_j - \bar{x})^2 / n} \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中, $i \neq j$, n 代表空间单元的总数, x_i 和 x_j 分别表示变量 x 在空间单元 i 和 j 的观测值, \bar{x} 是变量 x 的平均值, w_{ij} 表示空间权重矩阵,相邻时取值为 1,不相邻时取值为 0。Moran's $I \in [-1, 1]$,在给定的显著性水平下, $I < 0$ 表示负相关, $I = 0$ 表示不相关, $I > 0$ 表示正相关。 I 值越大,表示观测值空间分布的关联性越大,聚集性越强。 $I_i > 0$ 表示相似值(高-高值或低-低值)的空间聚集, $I_i < 0$,表示非相似值(低-高或高-低值)的空间聚集。

(2) 半变异函数分析方法

半变异函数是反映区域化变量的空间相关性,进行空间结构分析和最优模拟的主要工具^[26]。土地利用程度具有典型的区域化特征,它在空间上的异质性规律可以用半变异函数来分析:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

式中, h 为两点间的距离, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别代表景观要素在空间两点 x_i 和 $x_i + h$ 上的观测值, $N(h)$ 为距离为 h 时的样本总对数。

3 流域土地利用程度空间异质性分析

3.1 流域土地利用程度的全局空间分异

计算的结果显示,流域土地利用程度的 Moran's I 均为正值,且从 2003 年的 0.5927 减少到 2009 年的 0.5734,表明流域土地利用程度整体上呈正相关关系,在空间上并不是随机分布,而是趋于聚集分布;Moran's I 值的减少则说明随着城市化过程的推

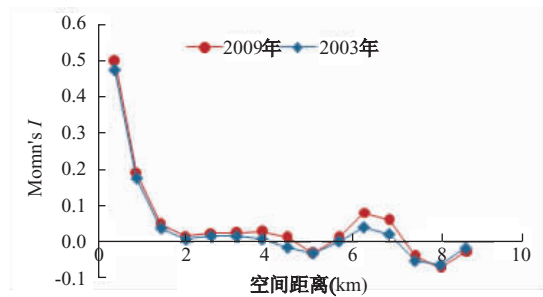


图3 土地利用程度(L)的 Moran's I 对空间距离变化的响应

Fig. 3 Moran's I of land use degree (L) responding to distance in the study area

进,流域建设用地的多点式扩张,已影响土地利用程度原有的空间格局,导致其在空间上的聚集性略有下降。

流域土地利用程度的全局分异存在明显的尺度效应(图 3),随着尺度的增大,空间自相关性逐渐下降。表明随着尺度的增加,相邻土地利用程度的差异性在增加,而相似性减小。这是由于数据平均时的滤波特性和 Moran's I 系数对距离的非线性特征共同造成的^[27]。当研究尺度较小时(2km 以内),变化的趋势更为明显。总体而言,在不同的尺度上,2009 年土地利用程度的 Moran's I 要小于 2003 年,从而表现出较弱的空间聚集性。

3.2 流域土地利用程度的局部空间分异

由于全局指标有时会掩盖局部状态的不稳定,因此,在很多场合需要采用局部指标来探测空间自相关^[25]。利用 GeoDA 9.0 软件计算出九乡河流域 2449 个样区 2003 年和 2009 年土地利用程度的局部空间自相关 LISA 值,并进行 Z 检验($P < 0.05$),而后在 ArcGIS 9.3 中绘制 LISA 集聚图(图 4)。可以看出,九乡河流域土地利用程度的高值区(高-高类型)明显聚集在北部的仙林大学城,以及北部的石埠桥一带,该区样方的土地利用程度高,相邻样方的土地利用程度较高;土地利用程度的低值区(低-低类型)主要分布于流域南部的青龙山,中部的灵山一带。该区域样方土地利用程度较低,其相邻样方土地利用程度也较低。而高一低聚集类型和低-高聚集类型则在流域中呈零星分布。总体而言,整个流域以高-高和低-低聚集类型为主,流域的土地利用程度整体上表现出一定的集聚与相似性。

高-高集聚主要分布在流域北部(下游),低-低

集聚主要分布在流域南部(上游)。这可能与流域自然环境条件,以及区域发展政策的空间差异有关。一般而言,地势相对平坦的区域更加适合人类的生存与城镇建设,土地利用程度往往较高。九乡河流域上游区多山地丘陵,地形起伏高差大,土地利用难度大,因而土地利用程度也相对较低,至中游地势逐渐平缓,下游则多为平地,自然条件的空间分异特征与从上游到下游土地利用程度的总体空间分布特点相一致;此外,上游生态旅游区的产业定位,限制了人类的开发建设活动,更有利于对上游生态环境的保护,这与上游土地利用程度的下降有直接的关系,而中、下游区内,仙林新市区建设的政策导向,与中、下游区内建设用地的急剧增加,以及耕地的大量减少,进而土地利用程度的增加有着直接关系。

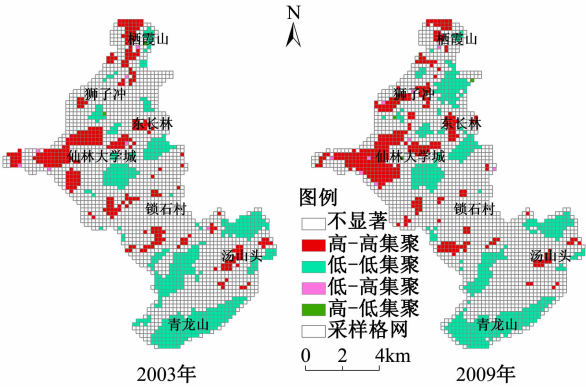


图 4 2003 和 2009 年九乡河流域土地利用程度局域空间自相关 LISA 集聚图

Fig. 4 The LISA cluster graph of local spatial autocorrelation in 2003 and 2009

3.3 流域土地利用程度的空间分布拟合

(1)半变异函数计算及模型拟合

由于 ArcGIS 软件的地统计分析模块受到数据计算量的限制^[28],故借用 GS+ 软件来完成变异函数理论模型的拟合(表 1)。可以看出,对 2003 年用高斯模型拟合最为理想,而 2009 年则用指数模型拟合最佳。因此,2003 年和 2009 年土地利用强度的空间结构分析分别是以高斯模型和指数模型计算的(图 5)。

从表 1 可以看出,2003 和 2009 年的块金值都较小,说明在所选择的 0.2km 的尺度内,土地利用程度的变异性不大,其内部微弱的差异可以忽略。这也反映出本研究选择用的研究尺度较为合适,

能较好地揭示流域土地利用程度的空间分异特征。与 2003 年相比,2009 年的变程有所缩短,这与九乡河流域快速的城市化过程有关。随着南京城市范围的逐步向东蔓延,九乡河流域建设用地呈现大规模、多点式扩张,打破了土地利用程度原有的空间分布格局,表现出在较短的距离内土地利用程度就发生较大变化。块金值与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 可以揭示变量的空间相关性程度,若比值小于 0.25,表明变量具有强烈的空间相关性,若比值大于 0.75,则空间相关性很弱^[29]。2003 年和 2009 年块金值占基台值的比例分别为 10.9%和 23.9%,都低于 25%,表明流域的土地利用程度具有很强的空间自相关性,呈较强的聚集分布状态;所占比例的上升也进一步说明,由于受南京城市扩张的影响,人类活动对流域土地利用程度空间分异的干扰在加强,致使流域土地利用程度在空间分布上的差异性加大,聚集性降低。

表 1 九乡河流域土地利用程度变异函数理论模型的有关参数

Tab. 1 Parameters of variogram theoretical model of land use degree in Jiuxiang River watershed

年份	拟合模型	C_0	C_0+C	A	$C/(C_0+C)$	R^2	RSS
2003	高斯模型	0.010	0.088	1.770	0.891	0.861	1.526×10^{-4}
	球状模型	0.006	0.061	1.440	0.907	0.850	1.670×10^{-4}
	线性模型	0.049	0.067	8.689	0.274	0.409	6.459×10^{-4}
	指数模型	0.006	0.062	1.860	0.906	0.861	1.529×10^{-4}
2009	高斯模型	0.0314	0.087	1.351	0.639	0.929	1.290×10^{-4}
	球状模型	0.0187	0.087	1.520	0.785	0.926	1.336×10^{-4}
	线性模型	0.072	0.094	8.689	0.236	0.365	1.133×10^{-4}
	指数模型	0.015	0.061	1.438	0.761	0.930	1.262×10^{-4}

注: C_0 为块金值、 C 为偏基台值、 C_0+C 为基台值、 A 为变程度、 R^2 为复相关系数、RSS 为残差。

为进一步探究流域土地利用程度在不同方向上的空间变异性,在计算 NE0°、NE45°、NE90°和 NE135° 4 个方向上的半变异函数(角度容差为 ± 22.5°)的基础上,分别计算了它们的各向异性比 $K(h)$ (图 6)。若 $K(h)$ 等于或接近于 1,则空间异质性为各向同性的,否则称为各项异性。

图 6 显示,2003 年和 2009 年两组垂直方向上的各项异性比 $K(h)_{0^\circ/90^\circ}$ 和 $K(h)_{45^\circ/135^\circ}$ 均在 1.0 附近波动,表明在不同的空间尺度上,流域土地利用程度的空间变异总体是各向同性的。但从时间的变化来看, $K(h)$ 曲线的波动幅度有所增大,尤其在

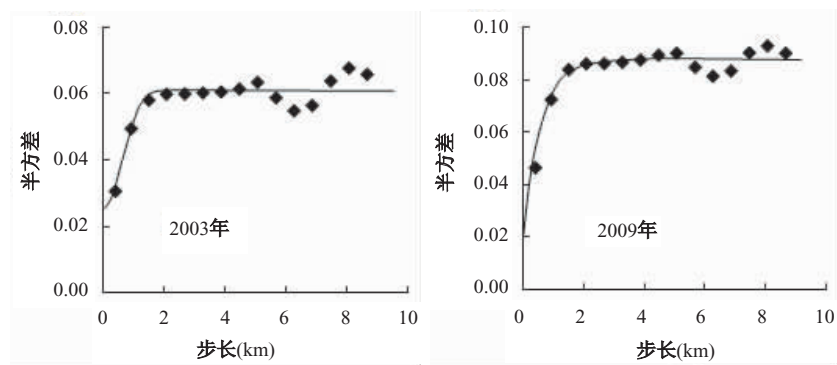


图5 各向同性条件下土地利用程度的变异函数曲线

Fig. 5 Isotropic semivariograms curves of land use degree in 2003 and 2009

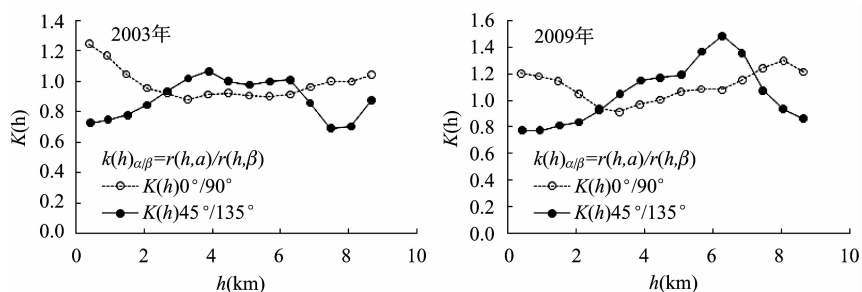


图6 土地利用程度空间变异的各向异性比

Fig. 6 Anisotropic ratio of land use degree in 2003 and 2009

NE45°和 NE135°两个互相垂直的方向上表现最为明显,说明在这两个方向上流域土地利用程度的空间差异性变化最大。进一步观察可以看出,随尺度变化,大部分 $K(h)_{45^\circ/135^\circ}$ 值大于 1.0,说明流域土地利用程度在 NE45°方向上的变化总体上大于 NE135°方向上的变化。2003 - 2009 年,随着下游仙林大学城建设的逐步完善,其范围逐渐向东扩张,东北部大量的耕地转变为建设用地,致使下游的建设用地的面积增加了 41.05%,东北部的土地利用程度也相应增加;而流域的西南部,由于靠近主城区,随着南京城市范围逐步向东扩张,西南部西村一带的土地利用也发生了较大的变化,因此,在 NE45°方向上土地利用程度的变异性较大。而在 NE135°方向,流域的西北部大学城 I 期工程已于 2003 年基本建成,所以,至 2009 年西北部的土地利用程度变化不大,而在流域东南部,由于此区域远离城区,受城市化影响很小,6 年间土地利用也没有发生大的变化,所以,在 NE135°方向上土地利用程度变化较小。从上可见,流域城市化水平较高的区域,其土地利用程度往往也相对较强。

(2) 空间拟合结果分析

基于所选择半变异函数的最优理论模型,利用

ArcGIS 的地统计分析模块,设定栅格大小为 10m × 10m,采用普通克里格法对 2003 年和 2009 年的土地利用程度指数进行插值预测和模拟(图 7)。

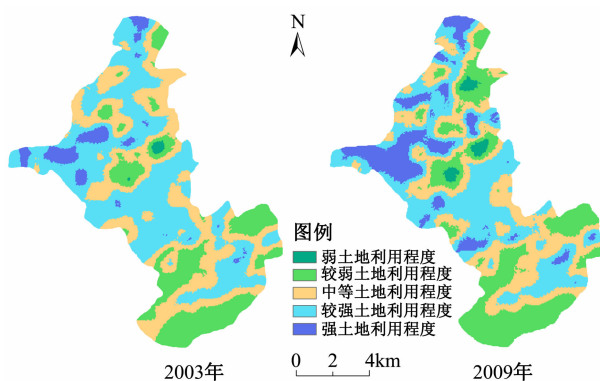


图7 2003 年和 2009 年土地利用程度克里格插值空间分布

Fig. 7 Distribution of Kriging interpolation for land use degree in 2003 and 2009

由于 2003 年和 2009 年各采样格网的土地利用程度值在 100 - 400 之间,为便于比较土地利用程度 L 的大小,本文对土地利用程度以 60 为间隔等间距划分为:强土地利用程度区 ($340 \leq L < 400$),较强土地利用程度区 ($280 \leq L < 340$),中等土地利用程

度区($220 \leq L < 280$), 较弱土地利用程度区($160 \leq L < 220$), 弱土地利用程度区($100 \leq L < 160$)。在此基础上统计了各土地利用程度级别所占的面积, 以便直观地描述流域土地利用程度的空间分布情况(表 2)。

表 2 九乡河流域土地利用程度级别克里格插值面积统计

Tab. 2 Area from the Kriging interpolation for land use degree grades

土地利用程度等级	2003		2009		2003 - 2009	
	面积 (km ²)	面积比 例(%)	面积 (km ²)	面积比 例(%)	面积变 化(km ²)	比例变 化(%)
弱土地利用程度	0.41	0.39	1.61	1.52	1.20	1.13
较弱土地利用程度	21.08	19.85	25.62	24.13	4.54	4.27
中土地利用程度	34.16	32.17	31.25	29.43	-2.91	-2.74
较强土地利用程度	45.51	42.86	35.46	33.40	-10.05	-9.47
强土地利用程度	5.01	4.72	12.24	11.53	7.23	6.81

模型拟合的结果(图 7)与 LISA 分布模式(图 4)基本一致。从图 7 可以看出, 九乡河流域的土地利用程度较弱的区域主要分布在南部的源头、灵山, 以及东长林以北的局部区域, 土地利用程度较强的区域主要分布在中部、北部的仙林大学城及石埠桥一带。总体而言, 流域以较强土地利用程度为主(表 2, 图 7)。2003 - 2009 年, 流域土地利用程度发生了较明显的变化。弱、较弱及强土地利用程度分布区面积增加, 而其他级别的分布区面积减少(表 2), 表明随着城市化过程的推进, 九乡河流域的土地利用程度主要向强和弱两个方向转变。变化比较明显的区域主要集中在九乡河的源头、仙林大学城, 以及东长林以北的西湖公园一带。其中, 仙林大学城一带的土地利用程度明显增强。随着入住高校数量的增多, 仙林大学城的面积也在不断扩张, 致使这一区域强土地利用程度分布区快速扩张, 面积增加了 6.81%。而弱和较弱土地利用程度分布区面积分别增加了 1.13%、4.27%。其中, 九乡河源头土地利用程度明显降低, 这与 2004 年龙尚湖水库的修建及龙尚湖风景区的建立有关, 使得这一区域的生态环境得到很好的保护。北部西湖公园一带的土地利用程度降低也比较明显, 这是由于受南京城市扩张的影响, 原先分布在这一带的许多农村居民点被搬迁, 耕地被征用, 使得这一区域暂时成为待开发的未利用地, 因而土地利用程度降低。随着基础设施的完善, 仙林大学城已逐渐发展

成为仙林新市区的中心, 河道两侧的绿化及景观建设在数量和质量上得到了很大的改善, 使得仙林大学城附近的土地利用程度也有所降低。可以看出, 在九乡河流域城市化过程中, 流域的景观和生态建设日益受到注重, 并试图通过各种生态工程建设对城市生态系统进行调控。随着仙林新市区建设的不断推进, 流域土地资源将遭受空前的压力。对强土地利用程度分布区, 应严格控制建筑用地的密度, 加强区域绿化和景观建设; 对土地利用程度较低的待开发区域, 针对流域土地利用现状和未来的用地需求, 采取合理的空间发展布局策略, 并制定严格的生态规划, 是减轻该区土地资源压力, 实现土地资源可持续利用的有效途径。

4 结论

九乡河流域土地利用程度空间分布表现出较强的正相关性, 反映流域土地利用程度在空间分布上具有较好的结构性; 流域土地利用程度空间自相关性与尺度密切相关, 随着尺度的增加, 空间自相关性下降, 流域土地利用程度在空间分布上的差异性增强, 这是数据平均时的滤波特性和 Moran' I 系数对距离的非线性特征共同作用的结果。

流域自然环境条件, 以及区域发展政策的差异导致土地利用程度空间分异明显: 流域北部的仙林大学城及石埠桥一带土地利用程度较高, 南部的青龙山, 中部的灵山与北部的西湖公园一带土地利用程度较低; 2003 至 2009 年, 九乡河流域的土地利用程度以较强土地利用程度为主, 受城市化过程的影响, 流域土地利用程度呈现出向强和弱两极转化的趋势, 而且东北-西南方向增强最为显著。

参考文献:

- [1] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643 - 650.
- [2] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81 - 87.
- [3] 叶敏婷, 王仰麟, 彭建, 等. 基于 SOFM 网络的云南省土地利用程度类型划分研究[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 97 - 105.
- [4] 吴承祯, 洪伟. 中国土地利用程度的区域分异规律模拟研究[J]. 山地学报, 1999, 17(4): 333 - 337.
- [5] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 105 - 111.

- [6] 姚晓军,张明军,孙美平. 甘肃省土地利用程度地域分异规律研究[J]. 干旱区研究,2007,24(3):312-315.
- [7] 王秀红,何书金,张懿铨,等. 基于因子分析的中国西部土地利用程度分区[J]. 地理研究,2001,20(6):731-737.
- [8] 田彦军,郝晋珉,韩亮,等. 县域土地利用程度评估模型构建及应用研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):293-297.
- [9] 张富刚,郝晋珉,李运生,等. 基于因子分析法的县域土地利用程度时空变异分析——以河北省曲周县为例[J]. 地理科学进展,2005,24(3):58-68.
- [10] 李雪瑞,王秀兰,冯仲科. 基于土地利用程度的北京市城市扩展特征[J]. 地理科学进展,2009,28(3):398-402.
- [11] 吴金华,李园媛,李纪伟. 延安市土地利用程度评价及政策建议[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(12):132-136.
- [12] 谢正峰,王倩. 广州市土地利用程度的空间自相关分析[J]. 热带地理,2009,29(2):129-133.
- [13] 冯异星,罗格平,尹昌应,等. 干旱区内陆河流域土地利用程度变化与生态安全评价——以新疆玛纳斯河流域为例[J]. 自然资源学报,2009,24(11):1921-1932.
- [14] 杨玉婷,石培基,潘竟虎. 干旱内陆河流域土地利用程度差异分析——以张掖市甘州区为例[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(2):102-107.
- [15] 王国杰,廖善刚. 土地利用强度变化的空间异质性研究[J]. 应用生态学报,2006,17(4):611-61.
- [16] 张金萍,汤庆新,张保华. 县域土地利用强度变化的空间异质性研究——以山东省冠县为例[J]. 资源开发与市场,2008,24(10):871-873.
- [17] 范宇,杨桂山,涂小松. 基于城市扩张的土地储备数量预测研究——以南京市为例[J]. 地理科学,2010,30(1):53-59.
- [18] 陈爽,刘云霞,彭立华. 城市生态空间演变规律及调控机制——以南京市为例[J]. 生态学报,2008,28(5):2270-2278.
- [19] 盛晟,刘茂松,徐驰,等. CLUE-S模型在南京市土地利用变化研究中的应用[J]. 生态学杂志,2008,27(2):235-239.
- [20] 安静,刘红玉,郝敬锋,等. 快速城市化对南京东郊景观结构与格局的影响[J]. 生态学杂志,2012,1(2):421-425.
- [21] 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等. 城市化对流域生态系统服务价值空间异质性的影响——以南京市九乡河流域为例[J]. 自然资源学报,2011,26(10):1715-1725.
- [22] 陈浩,邓祥征. 中国区域经济发展的地区差异 GIS 分析[J]. 地球信息科学学报,2011,13(5):586-593.
- [23] 董冠鹏,郭腾云,马静. 京津冀都市区经济增长空间分异的 GIS 分析[J]. 地球信息科学学报,2010,12(6):787-804.
- [24] 赵小凤,黄贤金,张兴榆,等. 区域 COD、SO₂ 及 TSP 排放的空间自相关分析:以江苏省为例[J]. 环境科学,2009,30(6):1580-1586.
- [25] 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):311-320.
- [26] 许倍慎,周勇,徐理,等. 湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征[J]. 生态学报,2011,31(24):7379-7387.
- [27] 谢花林,刘黎明,李波,等. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析——以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理学报,2006,61(4):389-400.
- [28] 吴学文,晏路明. 普通 Kriging 法的参数设置及变异函数模型选择方法——以福建省一月均温空间内插为例[J]. 地球信息科学,2007,9(3):104-108.
- [29] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征-变异函数和 Kriging 插值分析[J]. 地理学报,2000,55(5):555-566.

Spatial Heterogeneity of Land Use Degree in Jiuxiang River Watershed, Nanjing City, China

HU Hebing^{1,2}, LIU Hongyu¹, HAO Jingfeng¹ and AN Jing¹

(1. *College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;*

2. *Department of Resources Environmental and tourism, Chizhou College, Chizhou 247000, China*)

Abstract: We quantitatively analyzed the space heterogeneity of land use degree in the Jiuxiang River watershed. This is of great significance to land consolidation and sustainable use of land resources in the urbanized watershed. Jiuxiang River watershed in Nanjing City, as a case study area, its two landscape classification maps were conducted from 2003 and 2009 by remote sensing images interpretation, which were used as the main data source for assessment of land use degree. Spatial heterogeneity characteristics of land use degree in the study area were analyzed during 2003–2009 by means of spatial statistics like spatial autocorrelation and semi-variance analysis. The results showed that with the increase of spatial distance, the spatial correlation of land use degree showed a downward trend in Jiuxiang River basin. The high value area of land use degree was mainly located in the northwest Xianlin College Town and Shibei Bridge area, and the low value area mainly gathered in the northern Qinglongshan Mountain, the central Linshan Mountain and the northern West Lake Park area. Land use degree was mainly at the level of moderate in Jiuxiang River Basin from 2003 to 2009, accounting for about 40% of the watershed area. Affected by the urbanization process, the spatial heterogeneity of land use degree changed obviously, and the watershed land use degree showed the trend of conversion to stronger and weaker, the distribution area had an increase of 1.13% and 4.27%, respectively in six years. The land use degree in Xianlin College Town area enhanced, showed a trend of rapid expansion, but the land use degree slightly decreased in Jiuxiang River headwater, along the downstream coast and the West Lake Park. So we should establish a watershed ecological planning or land use planning to reduce the land use degree by controlling the density of building lands strictly, protecting forestlands, and enhancing the landscape construction.

Key words: land use degree; spatial autocorrelation; semi-variance analysis; urbanization; Jiuxiang River