DOI: 10.5846/stxb201212111780
石培基,王祖静,刘春芳.石羊河流域土地覆被空间演化及驱动机制.生态学报,2014,34(15):4361-4371.
Shi P J, Wang Z J, Liu C F.Spatial evolution process, pattern and mechanism of land cover change in Shiyang River Basin.Acta Ecologica Sinica,2014,34(15):4361-4371.

石羊河流域土地覆被空间演化及驱动机制

石培基,王祖静*,刘春芳
(西北师范大学地理与环境科学学院,兰州　730070)

摘要:基于石羊河流域 1998 年、2002 年、2006 年、2010 年 NDVI、夜间灯光数据和 TM 影像提取的土壤信息,以城市地表人工覆被系统为基础,计算流域土地覆被指数(Land-Cover Index,LCI),利用小波分析、空间变差函数和间隙度指数等方法构建测度模型,分析了石羊河流域地区十多年来的土地人工覆被空间演化过程和格局,然后利用回归拟合方程找出影响地区土地覆被变化的驱动机制。结果表明:LCI 大范围分布受地形限制,高值区(城镇用地区域)值越来越高,而低值区(植被覆盖区域)值在 2002 年形成了峰值后下降,即地区城镇化水平显著提高的同时,林草覆盖率缓慢变好,并且逐渐形成区域簇群,同时地区城镇化水平受人为因素的影响较大,植被覆盖度受自然因素的影响较大。

关键词:土地覆被;空间格局;空间演化;驱动力;石羊河流域

Spatial evolution process, pattern and mechanism of land cover change in Shiyang River Basin

SHI Peiji, WANG Zujing*, LIU Chunfang
College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, *China*

Abstract: This article supported by remote sensing and GIS software. Using NDVI, DMSP-OLS and multi-temporal TM images covering the period 1998—2010 of Shiyang River Basin. We put forward the Land-Cover Index (LCI) based on the Vegetation-Impervious Surface-Soil (V-I-S) theory of urban land-cover system raised by Ridd and Calculate it. Then we use wavelet analysis, semivarigram and lacunarity analysis to Study the temporal and spatial scales of LCI. In order to find out the spatial distribution and evolvement rules of LCI in the last decades. Finally we attempt to utilize of the regression fit equation to identify the drive mechanism of influencing factors of land-cover change. The conclusions are obtained as follows: LCI distribution restricted by DEM in large area. The value of LCI high area (urban area) increasing, and the value of LCI low area (vegetation cover area) declining since 2002. That the level of regional urbanization significantly improved, vegetation cover slowly got better. And both of them gradually formed clusters. The level of regional urbanization greater impact by human factors, vegetation cover greater impact by natural factors simultaneously.

Key Words: land cover; spatial pattern; spatial evolution; driven forces; Shiyang River Basin

城市化过程是不连续的、具有梯度性的,其必然会导致区域地表覆被格局的改变[1],土地覆被时空演化在 LUCC[2-4]、城镇扩展[5-8]、区域景观格局[9-12]及城市热环境[13-14]、水环境[15]等方面具有广泛应用。在一定范围内生态系统也随着地表覆被的改变而改变,这种改变在生态不敏感地区引起的效果甚

基金项目:国家自然科学基金(41271133,41261104);国家社科基金青年项目(12CTJ001)
收稿日期:2012-12-11;　　**网络出版日期**:2014-03-03
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wzjchshy@126.com

微[16],但是在生态脆弱地区,比如石羊河流域,人类活动的干扰会导致整个流域生态系统的紊乱,引发一系列的环境为题[17]。为了更好的指导城市建设和流域生态保护,找出近十多年的地表覆被变化规律,选择流域地表覆被空间格局演化作为研究生态环境效应的典型代表,将流域土地覆被的时间与空间研究范式结合起来,并以此立题,作为本研究的出发点。

流域生态环境问题是目前城市化与流域可持续发展普遍关注的问题[18],本文以 Ridd 于 1995 年提出的植被-不透水面-土壤 3 种基本要素构成的城市地表覆被系统[19]为基础,结合流域 1998—2010 年 NDVI、夜间灯光数据和土壤含量,运用改进的计算人居环境指数(Human_Settlements_Index, HSI)算法[20]计算土地人工覆被指数(LCI)。然后对其进行时间和空间尺度上的研究,利用小波分析、空间变差函数和间隙度指数等方法构建测度模型,分析了石羊河流域地区土地覆被空间演化的过程和格局。最后尝试利用回归拟合方程找出影响地区覆被分异和变化的驱动机制,以此反映近十多年来石羊河流域地表演化过程。

1 研究区概况

石羊河流域位于河西走廊东段,祁连山北麓,介于东经 101°22′—104°16′、北纬 36°29′—39°27′之间。以高山、中高山、低山丘陵、沙漠、冲积平原构成全流域地貌形态,地势南高北低,自西南向东北倾斜。面积约 41600km^2,流域行政区划包括武威市凉州区、古浪县、民勤县全部及天祝县乌鞘岭以北部分地区,金昌市永昌县和金川区全部以及张掖市肃南县部分地区,共 3 市 7 县(区)。流域生态环境脆弱、沙漠化严重,十多年来“西部大开发”快速的城镇化建设使这些问题更加突出。

2 数据与方法

2.1 数据处理

本研究 1998 年、2002 年、2006 年、2010 年流域 NDVI、夜间灯光数据和土壤信息分别来源于 SPOTVGT 数据、美国国家地球物理数据中心(NGDC)的 DMSP-OLS 和中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台的 Landsat TM 影像,

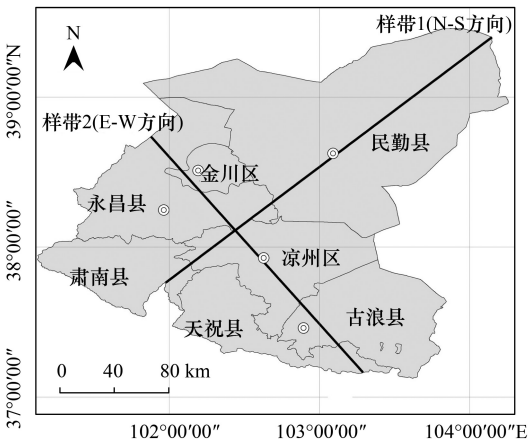

图 1 研究区概况

Fig.1 Sketch map of study area

流域基础数据主要来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn)。

统一把流域基础数据集的坐标系转换为西安 1980 坐标系,由于转换后的 NDVI 与 DMSP-OLS 图像均为 1km×1km 空间分辨率,所以无需进行重采样,用流域边界裁切图像。在 ENVI 中将 4 个年份 7—8 月 SPOT Vegetation 的 6 期数据转换为真实 NDVI 值,并提取最大值;再提取 OLS 最大值和最小值,根据公式对其进行归一化处理:

$$OLS_{nor}=\frac{OLS-OLS_{min}}{OLS_{max}-OLS_{min}} \quad (1)$$

式中,OLS_{nor}为归一化灯光指数,OLS 是灯光指数实际值,OLS_{max}和 OLS_{min}分别为灯光指数最大值和最小值。结合 Lu 等提出的提取人居环境指数(HSI)空间信息算法[20]:

$$HSI=\frac{(1-NDVI_{max})+OLS_{nor}}{(1-OLS_{nor})+NDVI_{max}+OLS_{nor}\times NDVI_{max}} \quad (2)$$

式中,$NDVI_{max}$为 7—8 月份 NDVI 最大值,解释为若一个像元中居住区所占比重大,那么导致 $NDVI_{max}$较低、DMSP-OLS 较高,所以 HSI 指数偏高。改进的计算土地覆被指数(LCI),以土地人工覆被综合表征,修改后公式如下:

$$LCI=\frac{(1-SOIL)+HSI}{(1-HSI)+SOIL+HSI\times SOIL} \quad (3)$$

式中,SOIL 为土壤比例指数,为解译的 4 期 16 景 TM 影像(均在 7 月或 8 月份)土地利用类型估算土壤比例,然后采用极差标准化方法,对其进行标准化处理。同式(2),若一个像元中人居环境、即不透水地

表所占比重大,那么导致 SOIL 较低、HSI 较高,所以 LCI 指数偏高。

2.2　研究方法

2.2.1　小波分析

小波变换是时间(空间)频率的局部化分析,它通过伸缩平移运算对信号(函数)逐步进行多尺度细化,最终达到高频处时间细分,低频处频率细分,能自动适应时频信号分析的要求,从而可聚焦到信号的任意细节。反映景观要素在不同尺度上的特征及其相互关系,揭示空间格局的多尺度和等级结构特征,计算公式为:

$$W(a,x_j)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\sum_{i=1}^{n}f(x_j)g(x_i-x_j) \qquad (4)$$

式中,$W(a,x_j)$为景观要素在空间尺度为 a 时的波值,x_j为窗函数的中值,$g(x_i-x_j)$为窗函数,对地形因子以及土地覆被指数的空间采样序列进行小波方差和小波一致性分析。通过误差分析和相关分析检验模型的模拟效果,统计参数包括均方根偏差(RMSE)、平均偏差(MBE)、相对偏差(RE)[21]。

2.2.2　空间变差函数

空间变差函数也叫半变异函数,是地统计分析的特有函数。区域化变量 $Z(x)$ 在点 x 和 $x+h$ 出的值 $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 差得方差的一半称为区域化变量 $Z(x)$ 的半变异函数,记为 $r(h)$,$2r(h)$ 称为变异函数。根据计算有:

$$r(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2 \qquad (5)$$

半变异函数曲线图反映了一个采样点与其相邻采样点的空间关系(图 2)。理论上,当采样点间的距离为 0 时,半变异函数值应为 0;但由于存在测量误差和空间变异,使得两采样点非常接近时,它们的半变异函数值不为 0,即存在块金值(C_0)。当采样点间的距离 h 增大时,半变异函数 $r(h)$ 从初始的块金值达到一个相对稳定的常数时,该常数称为基台值(C_0+C)。当半变异函数的取值由初始的块金值达到基台值时,采样点的间隔距离称为变程(a)。在变程范围内,样点间的距离越小,其相似性,即空间相关性越大。当 $h>R$ 时,区域化变量 $Z(x)$ 的空间相关性不存在[22]。

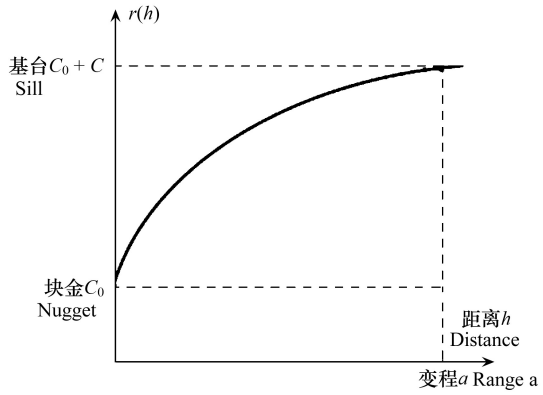

图 2　变差函数理论方差图

Fig.2　Model variogram on theory

2.2.3　间隙度指数

间隙度是 Mandelbrot 于 1983 年在《自然界分形几何》一书中最早提出,被广泛地应用于景观质地分析和景观的分形特征分析中,间隙度指数(Lacunarity Index)用于分析地表景观空间形态演化的过程。间隙度分析方法主要包括移动窗口法和查分盒子法,前者是对土地覆被总体特征及分布的一种度量,后者则用于识别土地覆被空间分布的局部异质性[23]。

全局间隙度指数计算公式为:

$$GL(r)=\frac{\sum_M M^2Q(M,r)}{\left[\sum_M MQ(M,r)\right]^2} \qquad (6)$$

式中,M 为边长为 r 的计数窗口中土地覆被栅格变化的数量,$Q(M,r)$为计数窗口中栅格变化的比例。

局部间隙度指数计算公式为:

$$LL(r)=\frac{\sum_{M_w} M_w{}^2Q(M_w,r)}{\left[\sum_{M_w} M_wQ(M_w,r)\right]^2} \qquad (7)$$

式中,$M_w=\sum_{i,j}n_r(i,j)$,$n_r(i,j)=v-\mu+1$,M_w为局部区域($w\times w$)内边长为 r 滑动窗口中土地覆被变化的数量,$n_r(i,j)$是局部区域 i 和 j 的列相对高度,v 为具有最大象元值的的立方体盒子,μ 为具有最小象元值的立方体盒子[23]。

本文综合以上方法,首先从直线样带的基础上,用小波分析找出影响流域土地覆被演化的因素,然后在面状范围内用变差函数分析 LCI 在时间点上的变化格局分布,最后从时空动态角度用间隙度指数研究 LCI 在时间段上的变化过程。

3 过程分析

3.1 土地覆被分布格局

3.1.1 总体特征

由于所选数据年份的限制,以每隔 4a 为 1 个时间点,利用流域 3 种因子合成 1998 年、2002 年、2006 年、2010 年土地人工覆被指数(LCI),综合表征土地覆被。用县区级行政区划裁切生成的栅格,得出流域各县区 LCI(表 1)。植被部分主要是利用 NDVI 体现的,由于采用 1km×1km 分辨率,干旱内陆河流域城市规模较小,2010 年武威市建成区为 16.75km^2,金昌市建成区为 55.51km^2,占流域比重分别为 0.04%、0.13%,其中城市植被更小,所以本文没有识别,植被部分仅指大区域耕地、林地、草地等。

表 1 1998—2010 年流域土地覆被分布特征

Table 1 The distribution of Land-cover Index (1998—2010)

地点 Site	1998		2002		2006		2010	
	均值 Average	标准差 Std	均值 Average	标准差 Std	均值 Average	标准差 Std	均值 Average	标准差 Std
民勤	0.5608	0.141	0.5782	0.1258	0.5679	0.1584	0.5582	0.1575
凉州	0.3253	0.1678	0.354	0.1807	0.3439	0.188	0.34	0.1981
古浪	0.349	0.1414	0.4266	0.1568	0.4356	0.1474	0.4285	0.1682
天柱	0.1952	0.1277	0.2199	0.1327	0.186	0.1268	0.1854	0.1329
金川	0.5404	0.2538	0.5947	0.3205	0.631	0.4456	0.7455	0.671
永昌	0.3908	0.1668	0.4241	0.1805	0.4199	0.198	0.4074	0.2205
肃南	0.2073	0.1419	0.2111	0.1395	0.1846	0.1421	0.1814	0.143
流域	0.3991	0.2037	0.4282	0.2088	0.4178	0.2304	0.4098	0.2577

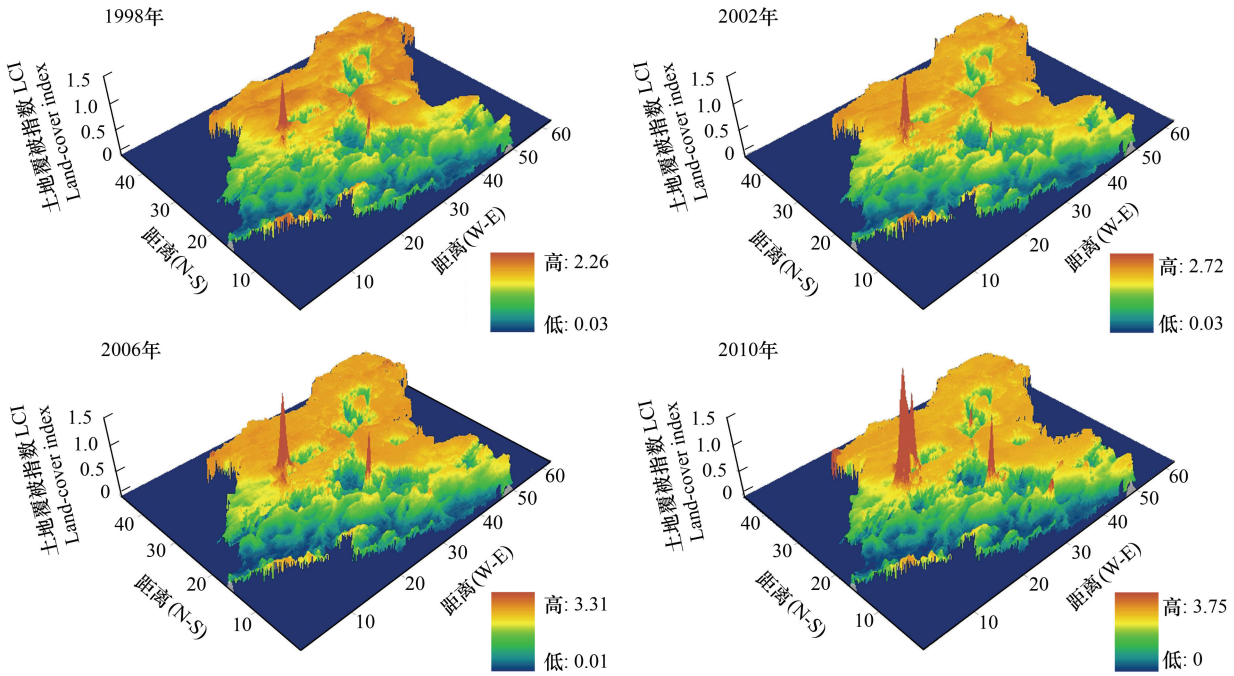

图 3 1998—2010 年流域土地覆被空间分布图

Fig.3 Land-cover in Shiyang River Basin (1998—2010)

以土地覆被指数 LCI 显示石羊河流域地表盖度的空间格局,如表 1,图 3 所示。民勤 LCI 均值在流域中最高,这是由于 LCI 的计算是以 NDVI 为基数,其被巴丹吉林和腾格里沙漠包围,NDVI 较低;天柱地处祁连山区,LCI 均值最低。1998—2010 年间流域 LCI 呈现先增后减的趋势,1998—2002 年均值从

0.3991 增长到 0.4282,平均年增长率为 0.0073,增幅较大;2002—2010 年的两个阶段均值从 0.4178 持续减小到 0.4098,平均每年减少 0.54%。除金川外各县区 LCI 演变过程和流域基本相似,由于金川为工矿型城市,建设集中,在最近十几年间建设用地持续扩张,所以其均值不断增加。从其余 6 个县区的均值变化中看出,在 1998—2002 年间增幅最大的为天柱,年均增长 2.81%;增幅最小的为肃南,年均增长 0.45%。2002—2010 年间减幅最大的是天柱,年均减少 1.96%;减幅最小的是凉州,年均减少 0.41%。

4.1.2　地区差异

为表现出地表覆被组分在空间演变上的地区差异及幅度,采用剖面分析方法进行组分的空间分异分析。布设 2 条沿主要交通和水域演变方向的剖面线(图 1),比较 LCI 沿 2 个方向的梯度变化。图 4 中 N-S、E-W 两个方向为典型样带,囊括了所有地表类型,以 1km×1km 为单元,分析流域 LCI 在相同位置上不同时间内的变化特征。

可以看出样带 1(N-S 方向)的变化不如样带 2(E-W 方向)明显,样带 2 大体沿 G30 连霍高速横贯整个流域,西部处于金川和永昌的城市交界处、中部位于凉州城市建设中心区,由于西部大开发的政策,城市增长迅速,所以 LCI 变化巨大,并且随着时间的推移明显呈递增趋势,其中凉州城市值中心最高,2010 年为 1.1349,2002—2006 年增幅最大达 209%;东部位于古浪和天柱直抵乌鞘岭,地表盖度较低,由于国家实行退耕还林草等,使得 2002—2010 年间 LCI 呈递减趋势,说明地区地表植被覆盖度越来越高,环境越来越好。样带 1 沿石羊大河走势纵贯流域,北部处于两大沙漠的分界线上,植被覆盖度低,所以 LCI 较高,并且在时间上几乎没有变化;中部位于 211 省道沿线凉州至民勤段,由于城市建设的原因,1998—2010 年间民勤及周边 LCI 逐渐增大,形成的几个低谷是民勤和凉州耕地;南部位于肃南和天柱边界上的水源涵养区,LCI 时间上变化幅度较小,空间上起伏较大,值较高的地区说明有冰川和永久性积雪,较低说明是植被分布,12 年间 LCI 总体呈下降趋势,可以看出山区植被增多,流域荒漠化程度改善。

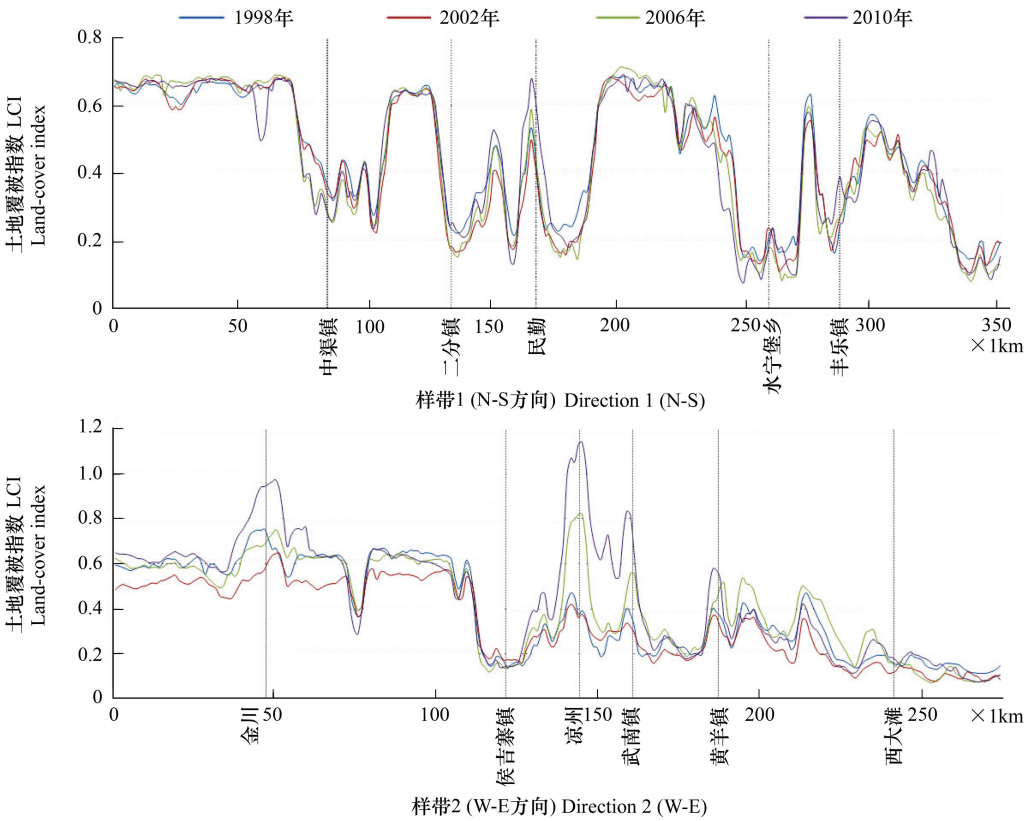

图 4　4 个时期不同方向上的 LCI 空间分异坡面图

Fig.4　The profiles of fractions of LCI in different directions (1998—2010)

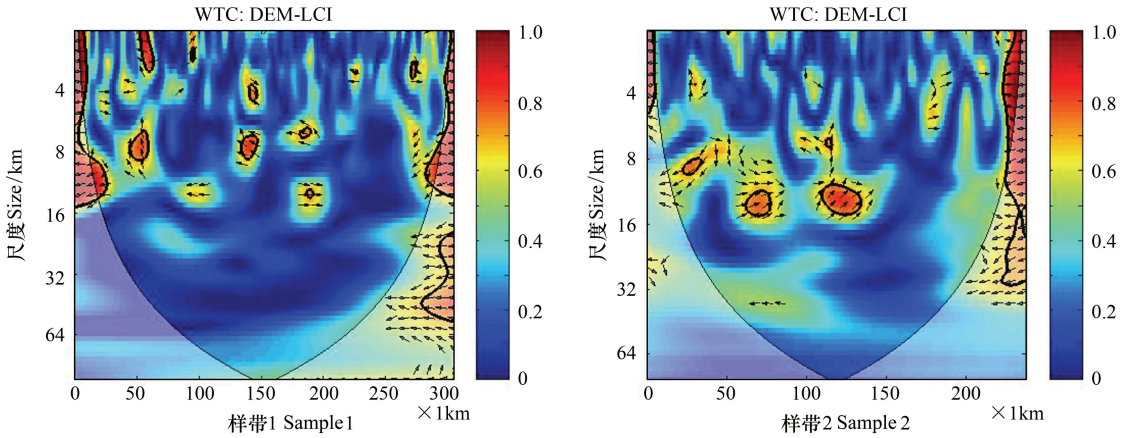

图 5 不同方向上 LCI 与 DEM 的小波一致性分析

Fig.5 Multi-scale wavelet coherence analysis between LCI and DEM in different directions

为找出影响土地覆被空间分布的因素,以流域 2 条样带的 DEM 和 2010 年 LCI 为例,进行小波一致性分析(图 5)。可以看出,小尺度(32km 以下)和中尺度(32—64km)上地形变化对 LCI 的作用很小,只有零散的圆圈、箭头分布;当达到阀值(64km)以后,地形对 LCI 的作用逐渐明显,存在空间位置上的一致性,将样带推演到全流域,反映出大尺度地形因子是形成 LCI 格局分异的主要控制因子,即石羊河流域由南向北“山区-平原-荒漠”大范围上的依次分布,是形成 LCI 空间格局的一大原因。

3.2 土地覆被演变过程

3.2.1 时间格局演变

定义采样步长为 5km,将 LCI 赋予重采样的格网中心点计算实验变差函数,得出石羊河流域 4a 的方差图及变差拟合曲线(表 2,图 6)。可以看出,通过最小二乘法拟合的模型在前 3a 相同,都是指数模型,2010 年为球状模型,决定系数都达到 0.9 以上,说明拟合精度很好。

变程(a)的不断增大,特别是在 2010 年激增为 22.5km,说明流域地表覆被在区域内部相互影响,即城市建设和退耕还林等人为影响因素较高。将基台值(C_0+C)定义为系统方差,基台值和块金值(C_0)的差值为结构方差,块金值不断变大,说明表征 LCI 变化主导因素的空间相关性在增大。结构方差与系统方差的比值即块金系数($C/[C_0+C]$),在 4 个典型年份中不断减小,在采样误差等同的情况下,说明象元内部变异性减小、外部差异变大,即 LCI 区域间变化增大,由于人为因素对流域地表覆被空间差异的影响越来越大,相反自然因素的相对重要性有所减弱。

LCI 的异向方差 3D 拟合模型显示出变差函数曲线在各个方向上都具有规律性,反映了流域 LCI 随距离变化的空间自相关性,总体上拟合模型呈现四周高中间低的“凹型”漏斗结构,并且随着时间的推移,这种结构越来越明显,说明石羊河流域 LCI 高低值在区域上发生了集聚,而且高值区的值越来越高,低值区的值越来越低。在 0°(东—西)和 90°(南—北)方向上、45°(石羊河沿线)和 135°(312 国道武威、金昌段)方向上的拟合效果均较好,变差函数曲线的变化趋势基本相同,决定系数都大于 0.9,也说明了 LCI 在区域间各个方向上的空间自相关作用较好。

表 2 流域 LCI 的空间变异特征值

Table 2 Spatial eigenvalue of LCI

年份 Year	变程 a	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金系数 $C/(C_0+C)$	拟合模型 Model	决定系数 R^2
1998	11.39	0.0037	0.098	0.962	Exponential	0.993
2002	12.58	0.0052	0.0914	0.943	Exponential	0.993
2006	14.25	0.0083	0.1006	0.917	Exponential	0.99
2010	22.05	0.0143	0.0996	0.856	Spherical	0.989

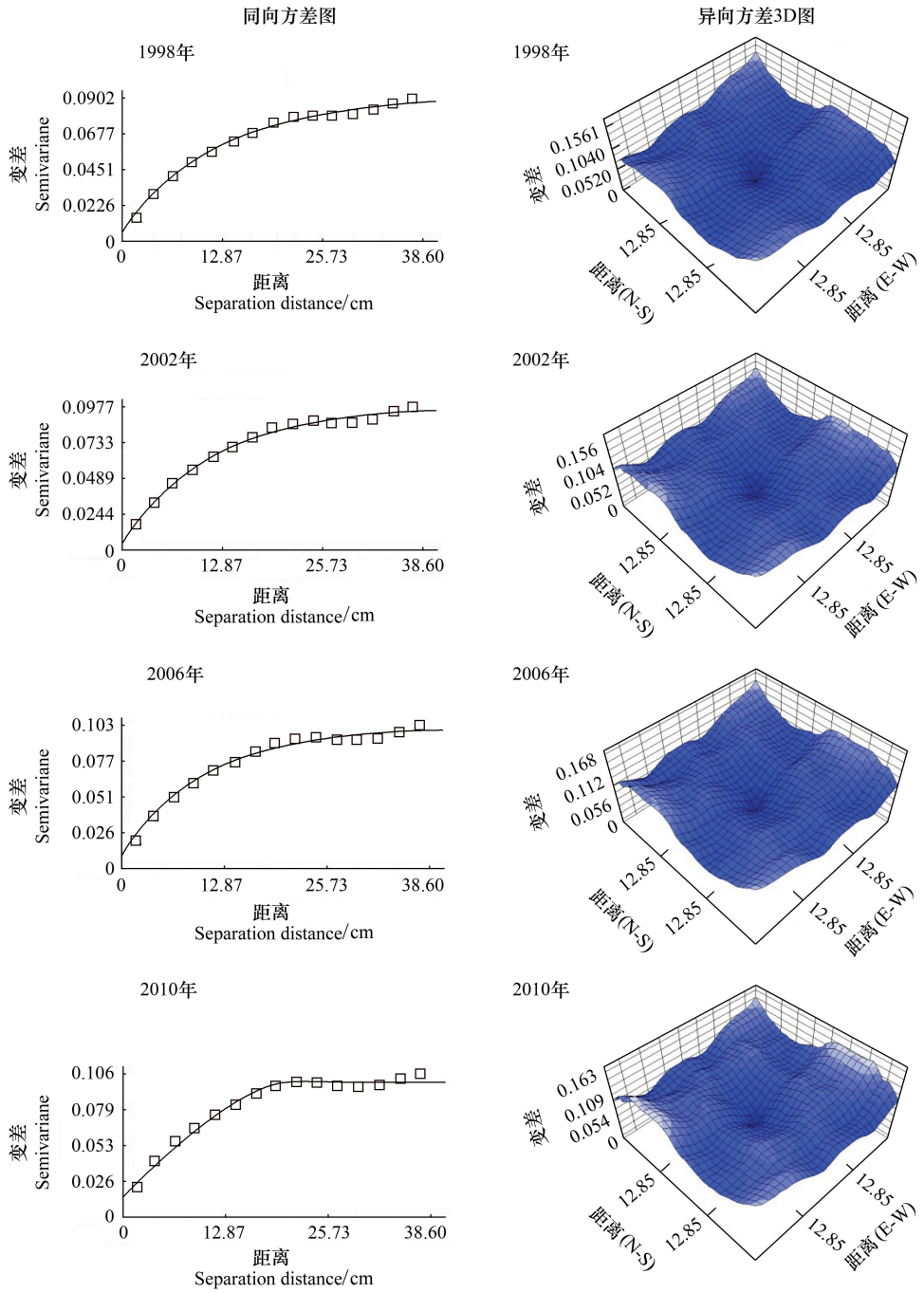

图 6　流域土地覆被梯度变差演化

Fig.6 Variogram and its evolution of land-cover

3.2.2　空间格局分异

计算流域 LCI 1998—2002 年、2002—2006 年、2006—2010 年的变化量,提取大于 0 的组分,利用差分盒子法分别测算 3 个阶段 LCI 变化量的局部间隙度指数(图 7)。1998—2002 年局部间隙度指数高值区分布零散,变化量在全流域没有形成集聚簇;低值区分布在古浪、金川中心城区的周边地区,说明这部分地区 LCI 空间变化量很小,区域协同性较强。2002—2006 年间隙度指数变化值较小,高值区主要分布在祁连山沿线,分散化程度减弱,说明这段时间这片区域内部分地区的地表覆被变化较平凡,并且 LCI 高低分化明显,这主要是由于地形复杂和土地利用类型较多,寒漠和林草交错分布;另外在金川和凉州城区形成低值集聚区。2006—2010 年在民勤的外

围两大沙漠和地区祁连山区形成了高值区,表明沙漠环境也在变化;在流域内 5 大县(区)城市建设中心区形成了低值集聚区,说明建成区面积不断扩大。综合来看,1998—2010 年间流域城镇空间扩展速度加剧,同时部分地区地表覆被也在发生变化。

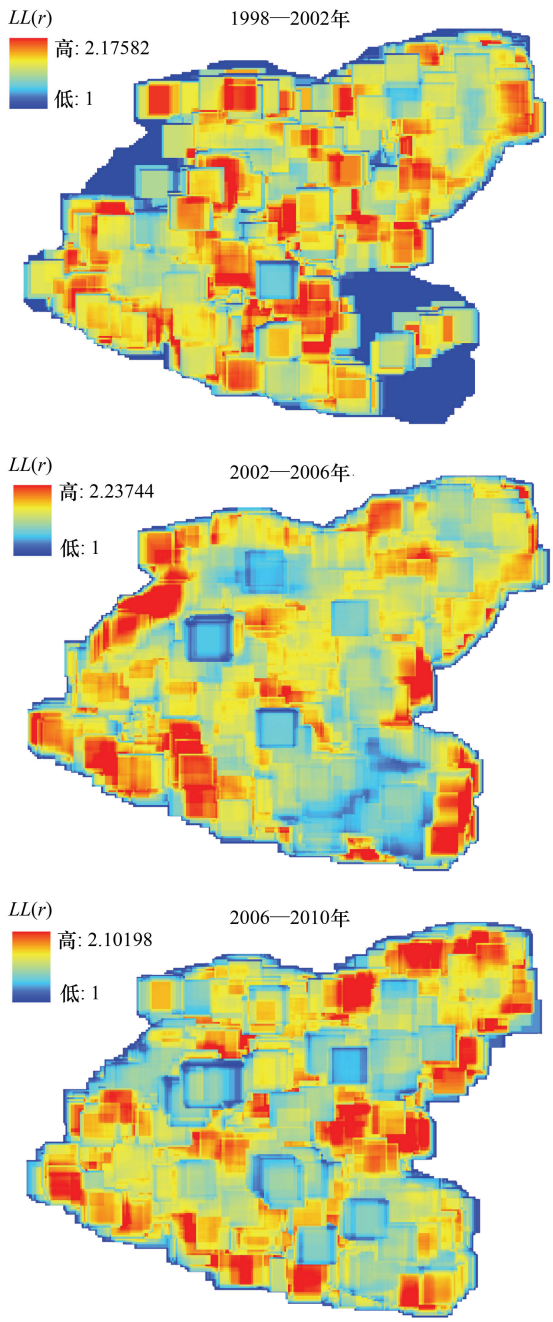

图 7 不同时期流域 LCI 变化的局部间隙度分析

Fig.7 Local lacunarity analysis of LCI change in different stages of evolution (1998—2010)

运用移动窗口法测算 3 个时间段内 LCI 变化量的全局间隙度指数(滑窗尺度变化范围为 2—39 象元),生成双自然对数曲线(图 8)。可以看出,2002—2006 年、2006—2010 年 ln(全局间隙度指数)在初始阶段都小于 1998—2002 年,但是随着 ln(滑窗尺度)的增大,逐渐超过了 1998—2002 年,并且所用滑窗尺度越来越小,说明局部间隙度指数高值和低值零散分布区在减少,向着集聚区发展,即小区域内部性的 LCI 变化区逐渐消失,取而代之出现了一些大范围的 LCI 变化区,区域异质化程度增强。

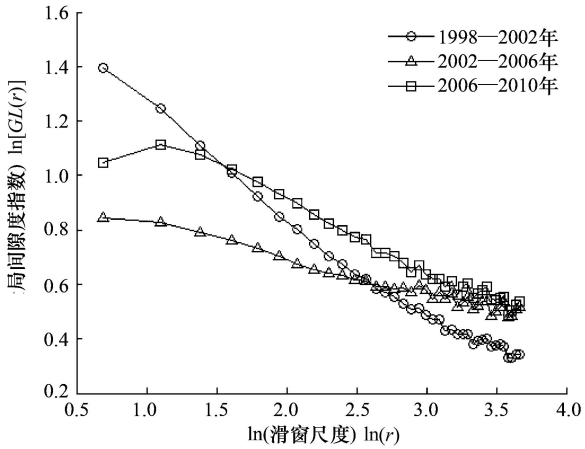

图 8 不同时期全局间隙度指数曲线

Fig.8 The curves of global lacunarity index in different stages of evolution (1998—2010)

4 驱动力分析

从上文分析可知,影响流域地表覆被变化的是人为和自然双重因素。为了找出空间上导致流域地表覆被变化的因素,人为影响因素的数据主要来自于 1998—2010 年石羊河流域各县区和周边县区的人口和经济数据,来源于"甘肃、青海、内蒙古统计年鉴";自然影响因素主要来自于 1998—2010 年石羊河流域及周边气象站点 7、8 月份的气温和降水数据(包括山丹、永昌、武威、民勤、马鬃山、松山、景泰、阿拉善右旗、门源、巴音毛道),来源于中国气象科学数据共享服务网。

对驱动因子进行 Kriging 插值,即数据空间化,再根据上文公式计算这 12a 的 LCI,与同期人为(人口、GDP)、自然(气温、降水)因素分别进行回归分析,公式如下:

$$R_{\mathrm{LCI}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\mathrm{LCI}_i - \bar{x})(\mathrm{LCI}_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\mathrm{LCI}_i - \overline{\mathrm{LCI}})^2 \times \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}} \quad (8)$$

式中,R_{LCI}表示相关系数,x_i为其中一个影响因子,$\bar{x}$为因子 4a 平均值,$n=4$,导入 ArcGIS 计算,结果如图 9 所示(通过 $P=0.001$ 的显著性水平检验)。对整个流域的 4 组相关系数进行统计,其中相关系数平均值最大为 0.83(图 9),57.4%的区域相关性在 0.8 以上;最小为 0.66(图 9),26.8%的区域相关性在 0.8 以上,表明研究区 LCI 与自然和人为因素的相关性都较好。

从自然因素与流域 LCI 的相关性分布图(图 9)可以看出,相关性较高的区域主要分布在祁连山水源涵养区,相关性平均值最大,为 0.74(气温)和 0.76(降水),这部分地区为林地和草地;另外,高值区还分布在北部荒漠与绿洲交互区,表明沙漠和戈壁演化的主要驱动力来自于自然因素,综合说明了在人迹罕至的高山和荒漠地区,自然条件是影响流域地表覆被的主要因素。

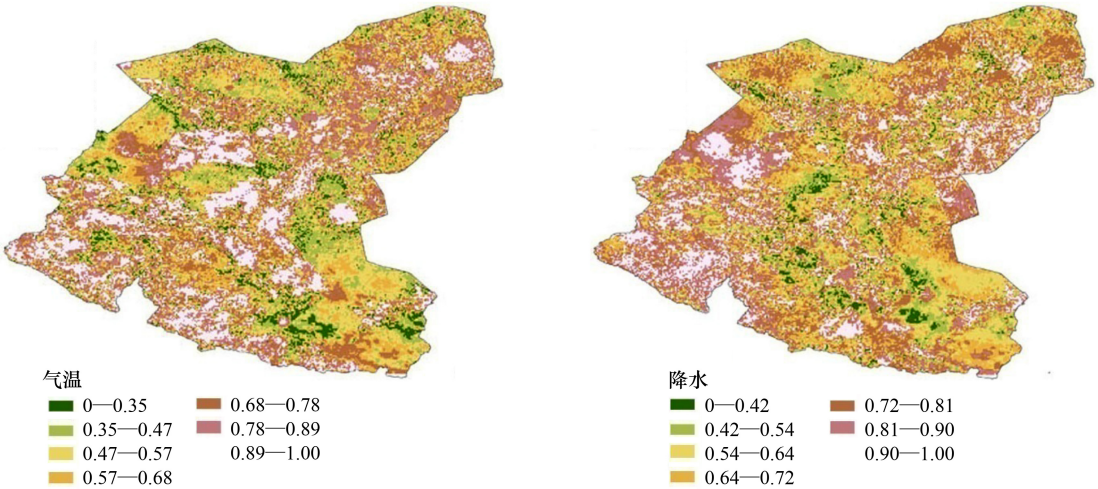

图 9　1998—2010 年 LCI 与自然因素相关系数分布图

Fig.9　Linear correlations of LCI with natural factors for the period 1998—2010

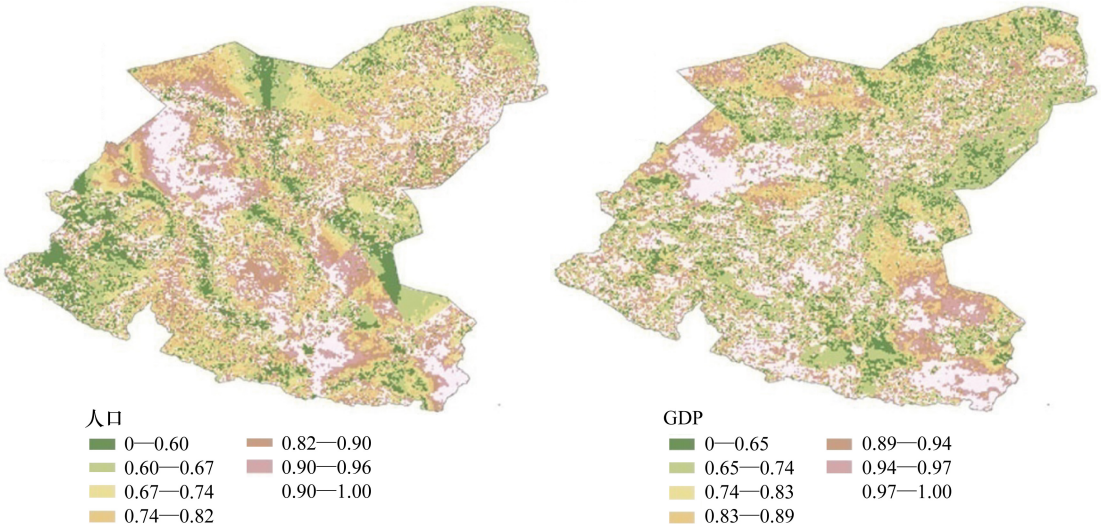

图 10　1998—2010 年 LCI 与人为因素相关系数分布图

Fig.10　Linear correlations of LCI with human factors for the period 1998—2010

5　结论与讨论

本文以 NDVI、DMSP-OLS 和 Landsat TM 为基础数据,研究了石羊河流域地表覆被的时空演化分布格局,发现整个流域 LCI 随时间的改变而不断演化。1998—2010 年间,LCI 均值经历了由小变大、再由大变小的过程,其中 2002 年达到峰值,之后均值逐渐减小。各县区 LCI 的演化规律也各不相同,凉州和

金川的城市中心区由于城市不断扩张,所以 LCI 一直在增大,肃南、天祝高植被覆盖区地表盖度逐渐变好,民勤、古浪等荒漠区 LCI 变化不明显。接着利用典型样带和小波分析,印证了这一情况。然后利用实验变差函数和间隙度指数模拟了流域地表覆被正向演化过程,揭示了区域性聚集演化规律逐渐增强,零散性演化分布逐渐减少,即 LCI 高值和低值分布区逐渐形成集聚簇,而零散分布区逐渐减少。

最后根据流域气象和人口经济数据找出驱使 LCI 演化的规律分布,可以看出,流域城镇集中分布的区域及其周边地区 LCI 变化主要受人口和经济因素影响,在远离城镇人烟稀少的地区,LCI 变化受气温和降水(即自然因素)影响较强,研究结果为石羊河流域生态保护建设提供了参考。

地表覆被时空变化是区域城镇空间演化的主要因素,研究城镇演化和地表演化的方法由一定的相通性,所以本文将研究城镇空间扩展的方法引入到土地覆被变化过程中,由于所选年份比较接近,土地覆被变化不是很明显;并且流域及周边的统计数据有限,驱动力分析不够充分全面。下一步将利用长时间序列,结合高精度遥感影像,选择流域典型城市进一步研究。

References:

[1] Li X, Yeh A G. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion a case study of Dongguan. Geographical Research, 1997, 16(4): 56-62.

[2] Lu D S, Weng Q H. Use of impervious surface in urban land-use classification. Remote Sensing of Environment, 2006, 102(1/2): 146-160.

[3] Herrmann S M, Anyamba A, Tucker C J. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. Global Environmental Change, 2005, 15(4): 394-404.

[4] Feng Y J, Liu Y, Tong X H, Liu M L, Deng S S. Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules. Landscape and Urban Planning, 2011, 102(3): 188-196.

[5] Liu X P, Li X, Shi X, Zhang X H, Chen Y M. Simulating land-use dynamics under planning policies by integrating artificial immune systems with cellular automata. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(5): 783-802.

[6] Che Q J, Duan X J, Guo Y, Wang L, Cao Y H. Urban spatial expansion process, pattern and mechanism in Yangtze river delta. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 446-456.

[7] Ma X D, Zhu C G, Ma R H, Pu Y X. Urban spatial growth pattern and its evolution in Suzhou, Jiangsu Province, China. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4): 405-416.

[8] Shi P J, Wang Z J, Li W. Urban spatial expansion process and pattern in Shiyang river basin. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(7): 840-845.

[9] Liu X P, Li X, Chen Y M, Tan Z Z, Li S Y, Ai B. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. Landscape Ecology, 2010, 25(5): 671-682.

[10] Chen Y M, Li X, Liu X P, Liu Y L. An agent-based model for optimal land allocation (AgentLA) with a contiguity constraint. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(8): 1269-1288.

[11] Lee W K. A Study on the Application of UrbanSim in the Analysis of Land Use Change in Taipei City [D]. Taipei: National Taiwan University, 2008.

[12] Liu Z H, Wang Y L, Peng J, Xie M M, Li Y. Using ISA to analyze the spatial pattern of urban land cover change: a case study in Shenzhen. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(7): 961-971.

[13] Yue W Z, Xu J H. Impact of human activities on urban thermal environment in Shanghai. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(3): 247-256.

[14] Yuan F, Bauer M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 2007, 106(3): 375-386.

[15] Kuang W H, Liu J Y, Lu D S. Pattern of impervious surface change and its effect on water environment in the Beijing-Tianjin-Tangshan metropolitan area. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(11): 1486-1496.

[16] Niu Z G, Gong P, Cheng X, Guo J H, Wang L, Huang H B, Shen S Q, Wu Y Z, Wang X F, Wang X W, Ying Q, Liang L, Zhang L N, Wang L, Yao Q, Yang Z Z, Guo Z Q, Dai Y J. Geographical characteristics of China's wetlands derived from remotely sensed data. Science in China: Series D: Earth Science, 2009, 52(6): 723-738.

[17] Yang Y C, Li J J, Chen F H, Jacquie B, Li R C, Li D, Chang G Y, Li Y C. The human mechanism research of Minqin Oasis change in the lower reaches of the Shiyang river. Geographical Research, 2002, 21(4): 449-458.

[18] Brabec E, Schulte S, Richards P L. Impervious surfaces and water quality: A review of current literature and its implications for watershed planning. Journal of Planning Literature, 2002, 16(4): 499-514.

[19] Ridd M K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. International Journal of Remote

Sensing, 1995, 16(12): 2165-2185.

[20] Lu D S, Tian H Q, Zhou G M, Ge H L. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensory remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(9): 3668-3679.

[21] Pan T, Wu S H, He D M, Dai E F, Liu Y J. Ecological effects of longitudinal Range-Gorge land surface pattern and its regional differentiation. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(1): 13-26.

[22] Tang G A, Yang X. Arcgis geographic information system spatial analysis experiment tutorial. Beijing: Science Press, 2006.

[23] Dong P L. Lacunarity analysis of raster datasets and 1D, 2D, and 3D point patterns. Computers & Geosciences, 2009, 35(10): 2100-2110.

参考文献:

[1] 黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程: 以东莞市为例. 地理研究, 1997, 16(4): 56-62.

[6] 车前进, 段学军, 郭垚, 王磊, 曹有挥. 长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制. 地理学报, 2011, 66(4): 446-456.

[7] 马晓冬, 朱传耿, 马荣华, 蒲英霞. 苏州地区城镇扩展的空间格局及其演化分析. 地理学报, 2008, 63(4): 405-416.

[8] 石培基, 王祖静, 李巍. 石羊河流域地区城镇空间扩展格局演化. 地理科学, 2012, 32(7): 840-845.

[11] 李万凯. 应用 UrbanSim 分析台北市土地使用变迁之研究[D]. 台北: 台湾大学, 2008.

[12] 刘珍环, 王仰麟, 彭建, 谢苗苗, 李猷. 基于不透水表面指数的城市地表覆被格局特征——以深圳市为例. 地理学报, 2011, 66(7): 961-971.

[13] 岳文泽, 徐建华. 上海市人类活动对热环境的影响. 地理学报, 2008, 63(3): 247-256.

[15] 匡文慧, 刘纪远, 陆灯盛. 京津唐城市群不透水地表增长格局以及水环境效应. 地理学报, 2011, 66(11): 1486-1496.

[17] 杨永春, 李吉均, 陈发虎, Jacquie B, 李瑞成, 李丁, 常跟应, 李忆春. 石羊河下游民勤绿洲变化的人文机制研究. 地理研究, 2002, 21(4): 449-458.

[21] 潘韬, 吴绍洪, 何大明, 戴尔阜, 刘玉洁. 纵向岭谷区地表格局的生态效应及其区域分异. 地理学报, 2012, 67(1): 13-26.

[22] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程. 北京: 科学出版社, 2006.