

洞庭湖区生态承载力时空演化特征

熊建新¹, 彭保发¹, 陈端吕¹, 王亚力¹, 张 猛²

(1. 湖南文理学院资源环境与旅游学院, 常德 415000; 2. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410006)

摘要: 利用探索性空间数据分析以及百分位数和变异系数, 基于 Arc GIS 和 Geo DA 软件支撑, 对洞庭湖区生态承载力的空间格局特征、空间关联特征和相对差异演变特征进行分析。结果表明: ① 空间格局上, 洞庭湖区生态承载力从西南向东北大体上呈现“W”型(较高—低—高一低—较高)空间格局, 倒“U”型的县域差异特征显著。② 空间关联上, 洞庭湖区生态承载力的分布呈正的全局空间自相关, 出现相似县域之间的空间集聚, 全局 Moran's I 值相差不大, 空间集聚程度比较稳定, 趋于围绕某一偏低集聚度出现小范围内波动; 局部空间自相关的 LISA 集聚类型出现 HH 型、HL 型和 LH 型 3 种类型, 依次集中分布在洞庭湖区的中部、西南部和东北部, 局部空间格局保持相对稳定, 但是聚类特征显现出稍微变化的迹象。③ 相对差异演变上, 2001-2010 年洞庭湖区生态承载力相对差异演变整体上呈现一定的差异性。2001-2003 年相对差异较小, 趋于稳定; 2005 年前后相对差异较大; 相比 2001-2003 年, 2005 年以来相对差异明显扩大且这种较大的空间相对差异随着时间的推移呈现小幅波动趋势。

关键词: 生态承载力; 空间自相关; 县域尺度; 洞庭湖区

DOI: 10.11821/dlyj201311006

1 引言

生态承载力是衡量人类社会经济活动对自然资源利用程度和对生态环境干扰力度的重要指标, 是判断区域可持续发展的重要依据^[1], 引起了国内外专家学者的高度关注和深入研究^[2,3]。目前, 在概念内涵^[4,5]、量化研究方法^[6-8]、个案分析与影响评价^[9-11]等方面, 取得了一定的研究成果。基于时空演化视角, 利用 GIS 和 RS 技术对生态承载力进行研究已成为一种趋势^[12]。陈乐天^[13]、岳东霞^[14]等分别对崇明岛和泾河流域生态承载力时空动态变化进行了分析。但是, 目前的研究成果尚未揭示生态承载力的空间自相关和空间异质性特征, 而以探索性空间数据分析 (Exploratory Spatial Data Analysis, 简称为 ESDA) 为主的空间分析法恰好能弥补其不足。ESDA 分析法是指利用统计学原理和图形图表相结合对空间信息的性质进行分析, 用以引导确定性模型的结构和解法^[15]。其本质是以空间关联为核心, 通过对事物或现象空间分布格局的描述与可视化, 发现空间集聚和空间异常, 从而揭示研究对象之间的空间相互作用机制^[16,17]。目前, 这种方法在区域经济^[16,17]、城镇发展^[18]、土地利用^[19]等领域得以广泛应用研究, 而用于生态承载力研究则不多见。就洞庭湖区而言, 湖区经济、社会、环境和生态的协调发展问题是国内外学者和各级政府关注的重点。

收稿日期: 2013-05-30; 修订日期: 2013-06-27

基金项目: 国家社会科学基金项目 (13BJY025); 教育部人文社科规划基金项目 (12YJAZH166、12YJAZH146); 湖南省哲学社会科学基金项目 (11JD53)

作者简介: 熊建新 (1970-), 男, 湖南常德人, 硕士, 副教授。主要研究方向为区域可持续发展。

E-mail: xjx1108@163.com

目前,湖南省委省政府已经启动了国家层面的“环洞庭湖生态经济圈”建设工作^[20]。学术层面,董明辉^[21]、段玉^[22]等着重从经济和社会角度,姜加虎^[23]、孙占东^[24]等着重从生态和环境角度研究洞庭湖区的比较多,而从生态承载力角度研究的相当少,仅有陶卫春^[25]、熊建新^[26]等对此有过研究,也没有揭示生态承载力的空间相互作用及变化。因此,本文在 Arc GIS 和 Geo DA 统计分析软件支持下,从时空尺度,采用动静态分析、统计分析与空间可视化分析相结合,通过 ESDA 相关分析,揭示洞庭湖区生态承载力的时空演化特征,为洞庭湖区经济、社会和生态的协调发展提供科学依据。

2 研究区域概况

洞庭湖区地处长江中游荆江南岸,地跨湘、鄂两省,介于为 28°44'N-29°35'N、111°53'E-113°05'E 之间,占据长江中下游最敏感而脆弱的生态区位,大部分地区的海拔高度低于 50m,85% 以上的土地面积在湖南省辖境内^[27]。本文研究范围界定为岳阳、常德和益阳 3 个地级市的 21 个县(市、区),其土地面积 3.2×10⁴km²,人口 1500 万,分别占湖南省的 15% 和 21% 以上。2001-2010 年,三次产业结构从 27.5 : 36.7 : 35.8 调整为 21.7 : 41.5 : 36.8,人均 GDP 从 5.581×10³元上升到 3.704×10⁴元。湖区属于典型的亚热带季风气候,年均降水量 1200-1450mm,年均气温 16.5-17.0℃。河网密布,湘、资、沅、澧四水流经,水、土、气、生物等资源丰富。

3 数据选取及预处理

利用 ERDAS 和 Arc GIS 软件对洞庭湖区 2001-2010 年遥感影像进行解译和信息处理,提取洞庭湖区各种土地利用类型的原始数据,涉及人类社会经济的指标数据主要通过《湖南省统计年鉴》、《岳阳市统计年鉴》、《常德市统计年鉴》和《益阳市统计年鉴》,以及环保局、林业局等相关职能部门提供的数据获得。指标选取上,首先根据高吉喜^[1]对生态承载力内涵的阐释,从生态弹性子系统的支撑能力、资源环境子系统的供容能力和社会经济子系统的发展能力三个方面选取,遵循科学性、全面性、可操作性和简明性原则,参考中国科学院可持续发展指标体系;然后结合洞庭湖区自然和社会经济概况,共筛选出 18 项针对性较强、便于度量且内涵丰富的指标。其中生态弹性力指标包括生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地退化指数、湿地面积退化指数和气候变化指数,这 6 项指标选取的依据和内涵主要参考《生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T192-2006)》^[28];资源环境承载力指标包括人均水资源量、人均耕地面积、人均林地面积、环境污染治理投资率、单位规模工业增加值能耗和废水净排放量;社会经济协调力指标包括经济密度、人口密度、城市化率、恩格尔系数、人均 GDP 和第三产业比重。指标权重的确定以及标准化处理参见文献[26]。为了能够从三维状态空间上体现生态承载力的影响因素,因此在测算上采用毛汉英^[8]提出的状态空间法(state-space techniques),计算公式如下:

$$EC = |M_g| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (W_{1j} B_{1jg})^2 + \sum_{j=1}^m (W_{2j} B_{2jg})^2 + \sum_{j=1}^k (W_{3j} B_{3jg})^2} \quad (1)$$

式中: EC 为生态承载力; M_g 为生态承载力空间向量的模; B_{1jg} 、 B_{2jg} 和 B_{3jg} 分别为生态弹性力(B_1)、资源环境承载力(B_2)和社会经济协调力(B_3)第 j 个指标在空间坐标轴上的投

影; W_{1j} 、 W_{2j} 、 W_{3j} 分别为 B_1 、 B_2 、 B_3 第 j 个指标对应的权重。

4 研究方法

4.1 空间频数分异测度

空间频数分异测度采用百分位数(Percentile)。它用于揭示一个数值在一组数据的频数分布中的位置。其计算公式为式:

$$p = \frac{\text{Cumf}(\text{below}X) + f(X)/2}{n} \times 100 \quad (2)$$

式中: Cumf表示累计频数; f 表示频数。

4.2 空间关联分析

本文引入空间权重矩阵、全局空间自相关 Moran's I、局部空间自相关 LISA 和 Moran 散点图^[29]。前两者用于揭示区域总体上的空间关联和空间差异程度, 后两者用于分析局部直至每个空间单元的空间自相关特征。

(1) 全局空间自相关(Global Moran's I)

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \left(x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right) \left(x_j - \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \right)}{\left(\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right)^2 \right)} \quad (3)$$

式中: X_i 为观测值; W_{ij} 为空间权重矩阵, 空间相邻则为 1, 不相邻则为 0^[16]。采用 Z 对 Moran's I 结果进行检验:

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}} \quad (4)$$

式中: $E(I)$ 为数学期望; $\text{VAR}(I)$ 为变异数^[16]。在给定显著性水平时, Moran's I 介于 $[-1, 1]$, 其绝对值趋近于 1 时, 表示区域的空间相关性越显著^[19], 仅当 Moran's I 接近期望值 $-1/(n-1)$ 时, 观测值之间才相互独立, 在空间上随机分布^[16]。

(2) 局部空间自相关(Local Moran's I)

$$I_i = \frac{n(x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}) \sum_j W_{ij} (x_j - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n})}{\sum_i (x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n})^2} \quad (5)$$

在给定显著性水平 α 时, 若 I_i 显著大于 0, 说明区域 i 与周边地区之间的空间差异显著小; 若 I_i 显著小于 0, 说明区域 i 与周边地区之间的空间差异显著大^[15]。

(3) Moran 散点图

Moran 散点图用于分析局部空间的差异程度。Moran 散点图划分为 4 个象限, 分别对

应HH、LH、LL、HL4种不同的区域空间差异类型^[15,17]：右上象限(HH)表示区域自身和周边地区生态承载力较高，二者空间差异程度较小；左上象限(LH)表示区域自身生态承载力较低，周边地区较高，二者空间差异程度较大；左下象限(LL)表示区域自身和周边地区生态承载力较低，二者的空间差异程度较小；右下象限(HL)表示区域自身生态承载力较高，周边地区较低，二者的空间差异程度较大。

4.3 变异系数测度

变异系数(Coefficient of variation)用来表示地理数据的相对变化程度^[30]，用来分析生态承载力相对差异演化过程。其计算公式如下：

$$C_v = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n})^2} \quad (6)$$

式中： C_v 为变异系数； X_i 为观测值（ $i=1, 2, \dots, n$ ）。

5 结果及分析

5.1 洞庭湖区生态承载力时空变化

利用状态空间法测算出洞庭湖区2001-2010年生态承载力（图1）。可以看出，近10年来洞庭湖区生态承载力整体上呈现“U”型变化趋势，其变化基础为生态弹性力和资源环境承载力，而直接驱动力为社会经济协调力^[26]。从区域差异角度来看，选取2001年、2005年和2010年3个典型年份的生态承载力（图2），

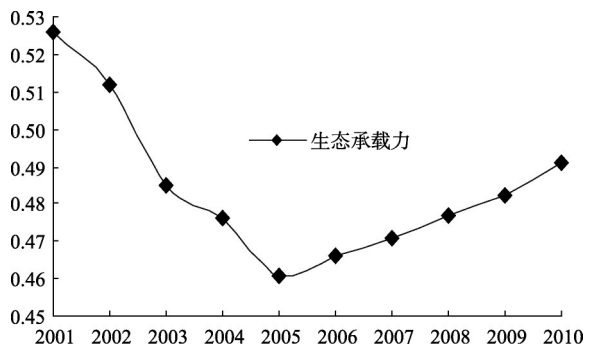


图1 洞庭湖区生态承载力时序变化

Fig. 1 Time series change of ecological carrying capacity in Dongting Lake region

均值 > 0.6 的是南县、沅江市、湘阴县和桃源县，均值 < 0.35 的是岳阳市区、常德市区和益阳市区，并且一直处于最低状况。3个时段的对比分析表明，沅江市和南县的生态承载力一直处于上升态势，岳阳市区、岳阳县、汨罗市、益阳市区、常德市区和汉寿县等6个县域一直处于下降态势，湘阴县和华容县呈现“先升后降”趋势，临湘市、桃江县、桃源县、临澧县、澧县、津市和安乡县等7个县域呈现“先降后升”趋势。这种变化趋势集中反映了不同时空尺度下生态弹性子系统的支撑能力、资源环境子系统的供容能力和社会经济子系统的发展能力的地区差异性。

5.2 洞庭湖区生态承载力空间格局特征

利用Geo Da软件绘制出2010年洞庭湖区生态承载力百分位图（图3）。可以看出：
① 2010年洞庭湖区县域生态承载力水平从西南向东北依次呈现“较高—低—高一低—较高”态势，“W”型的空间格局明显。其中高（较高）值区分别是西南的桃源县和桃江县，中部的南县和沅江市，东北的华容县和临湘市；低值区依次是常德市区和岳阳市区。从影响因素来看，生态系统的结构和功能、资源的禀赋状况和环境的容纳能力很大程度上受制于人类社会经济活动的影响程度。因此“W”型空间格局的低值区恰好是人类社会活动最强烈的地区，相对而言，高（较高）值区所受影响偏弱。尤为明显的是受交通区位因

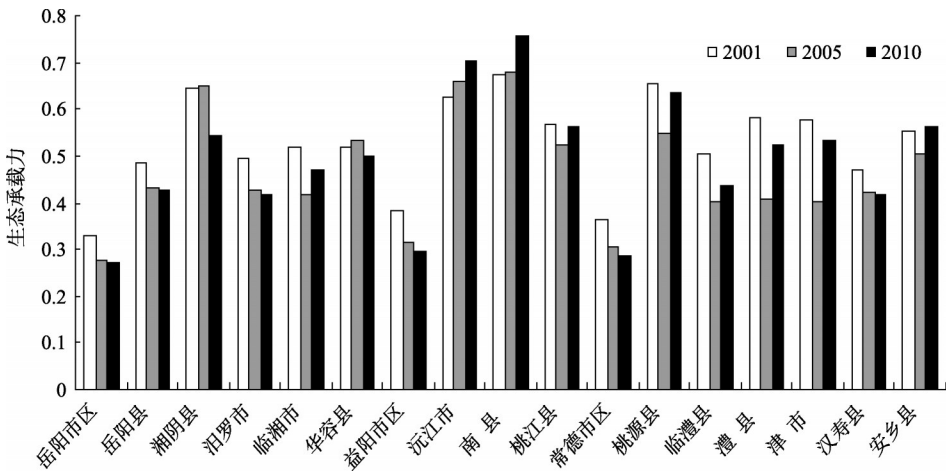


图2 洞庭湖区3个年份生态承载力的区域差异

Fig.2 Regional differences of ecological carrying capacity in Dongting Lake region (3-phases)

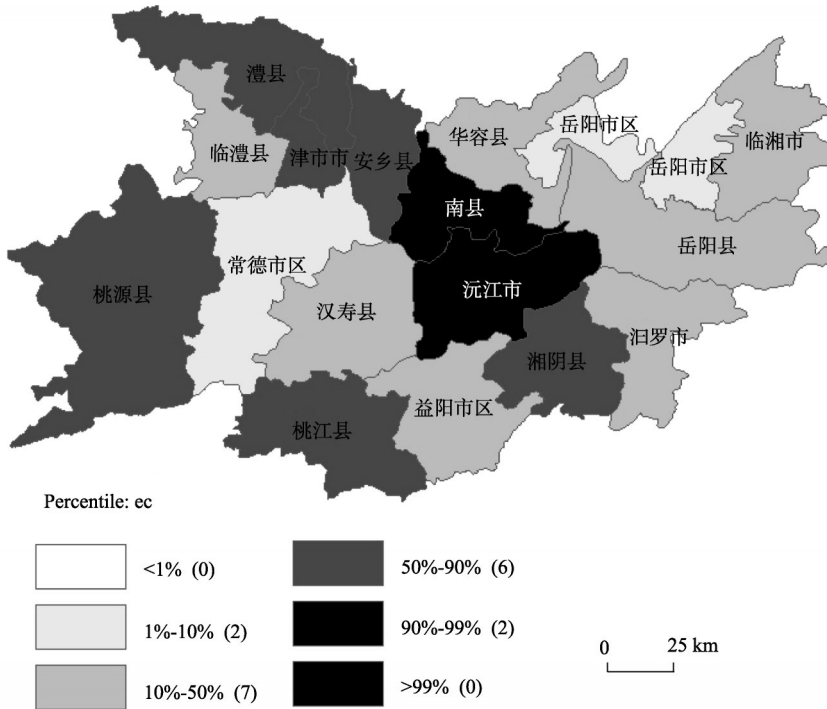


图3 洞庭湖区生态承载力百分位图(2010)

Fig. 3 Percentile picture of ecological carrying capacity in Dongting Lake region (2010)

素影响, 沿京广线、石长线、107国道和319国道穿越的县域, 生态承载力明显偏低。②从百分位等级频数分布来看(图4), 倒“U”型的县域生态承载力差异特征显著。以10%, 50%, 90%三个百分位数为断面, 相应的频数依次为2、7、6和2, 生态承载力水平的高低在数量上形成中部高, 两头低, 大体上围绕中部对称分布的倒“U”形状。上述空间格局特征表明社会经济发展水平较高的县域, 其生态承载力较低, 进而验证了社会经济协调力是影响生态承载力高低的直接驱动力^[26]。

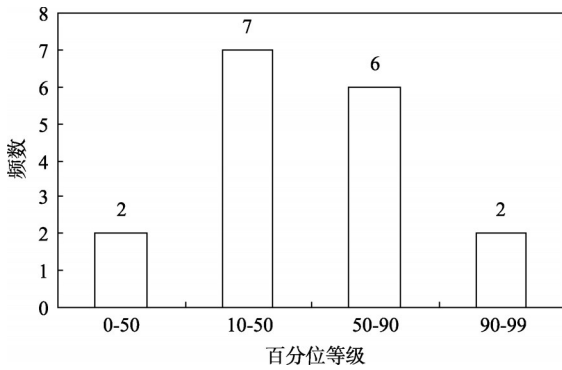


图4 洞庭湖区生态承载力百分位等级频数分布 (2010)

Fig. 4 Frequency distribution of percentile rank of ecological carrying capacity in Dongting Lake region

5.3 洞庭湖区生态承载力空间关联性

5.3.1 生态承载力的全局空间自相关性特征

根据县域之间的邻接拓扑关系, 采用二进制空间权重矩阵, 选取2001-2010年县域生态承载力, 利用Geo Da软件计算洞庭湖区10个年份的县域生态承载力的全局Moran's I, 计算其检验的标准化统计量Z (表1)。整体上来看, 生态承载力的观测值和期望值较接近, 5%显著性水平下检验显著, 表明全局生态承载力高值或低值的集聚现象明显。上述年份Sd数值的变化, 在一定程度上说明了近10年来湖区生态承载力在空间分布上

表1 洞庭湖区生态承载力的全局Moran's I值

Tab. 1 Global Moran's I of ecological carrying capacity in Dongting Lake region

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Moran's I	0.3099	0.3120	0.3086	0.3142	0.3333	0.3244	0.3190	0.3172	0.3217	0.3235
E(I)	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-0.0625
Mean	-0.0445	-0.0532	-0.0597	-0.0524	-0.0565	-0.0476	-0.0413	-0.0485	-0.0571	-0.0523
Sd	0.1626	0.1676	0.1648	0.1629	0.1655	0.1636	0.1653	0.1646	0.1593	0.1624
Z	2.1787	2.1785	2.2288	2.2471	2.3555	2.4218	2.1798	2.2717	2.3777	2.3444
P	0.018	0.011	0.019	0.017	0.015	0.012	0.020	0.017	0.011	0.013

有演化和迁移现象。同时, Sd数值的变化幅度不大, 说明近10年来湖区生态承载力的空间总体格局没有发生十分剧烈的变动, 只是在原有格局上略有调整和集聚, 也就是说2001年以来, 湖区“W”型的总体格局依然存在。

为了更加直观反映洞庭湖区生态承载力的全局空间自相关程度, 以年份为横轴, 以全局Moran's I值为纵轴, 建立全局Moran's I值的折线图 (图5)。可以看出, 在5%显著性水平下, 2001-2010年生态承载力的全局Moran's I值均为正值, 对该指标检验的结果显著性较高, 表明2001-2010年期间, 洞庭湖区生态承载力存在着较显著的的正的空间自相关。这就说明了县域生态承载力的空间分布并非表现出完全的随机性, 而是出现相似之间的空间集聚, 其空间联系的基本特征是较高 (较低) 生态承载力的县域彼此相邻。整体上看, 各年份的这种空间聚集程度比较稳定, 全局Moran's I值相差仅为0.0247, 基本上趋

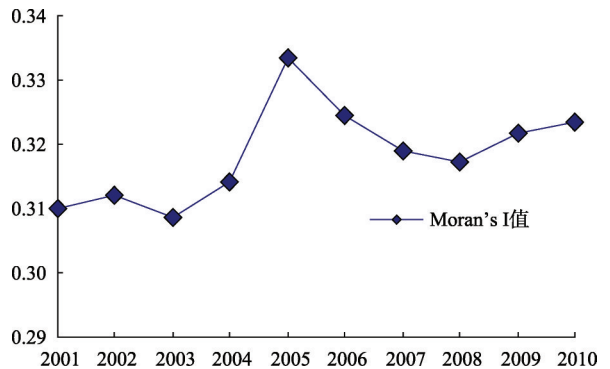


图5 洞庭湖区生态承载力的全局Moran's I值分布
Fig. 5 Global Moran's I distribution of ecological carrying capacity in Dongting Lake region

于围绕某一偏低集聚度出现小范围内波动。

5.3.2 生态承载力的局部空间自相关特征 通过考察集聚热点区域的变化情况,可以更直观地反映洞庭湖区生态承载力局部空间格局演化状况。选取2001年、2005年和2010年3个典型年份,采用LISA和Moran散点图两种分析方法相结合来揭示生态承载力的局部空间聚类特征。利用Geo Da软件计算3个典型年份生态承载力的Local Moran's I值,绘制出局部空间自相关的LISA集聚图(图6)。可以看出,洞庭湖区生态承载力在空间上体现出一定的局部空间自相关集聚格局,具有聚类分析意义的县域可以划分为3种类型:①空间差异较小,区域自身和周边水平较高的县域(HH)。3个年份属于HH型的县域个数分别为3、3和2,平均数约占湖区总数的1/15,这说明了湖区县域生态承载力具有一定的空间差异性。HH型局部空间自相关类型包括南县、沅江市和湘阴县3个县域,集中分布在洞庭湖区的中部,表明这3个县域生态系统较稳定,耕地、林地、水和生物等资源较丰富,土地利用结构较为合理,社会经济协调性较强,生态环境保护较好。②空间差异较大,区域自身水平较高而周边较低的县域(HL)。3个年份属于HL型的县域个数均为2个,主要包括桃源县、常德市区、桃江县和益阳市区,集中分布在洞庭湖区的西南部。③空间差异较大,区域自身水平较低而周边较高的县域(LH)。3个年份属于LH型的县域个数均为4个,主要包括岳阳市区、临湘市、岳阳县和华容县,集中分布在洞庭湖区的东北部。HL和LH两种类型包括的县域个数较多,各年份变动较小,尤其是LH型3个年份均没有变化,说明这些县域之间存在着明显的极化效应。同时还可以看出,2001-2010年湖区生态承载力局部空间格局保持相对稳定,3种集聚类型变化不大,但是局部空间聚类特征显现出稍微变化的迹象,说明近些年来湖区城镇化进程不断推进,区域经济一体化加速^[21],引起了高、低值区发生相应转变。

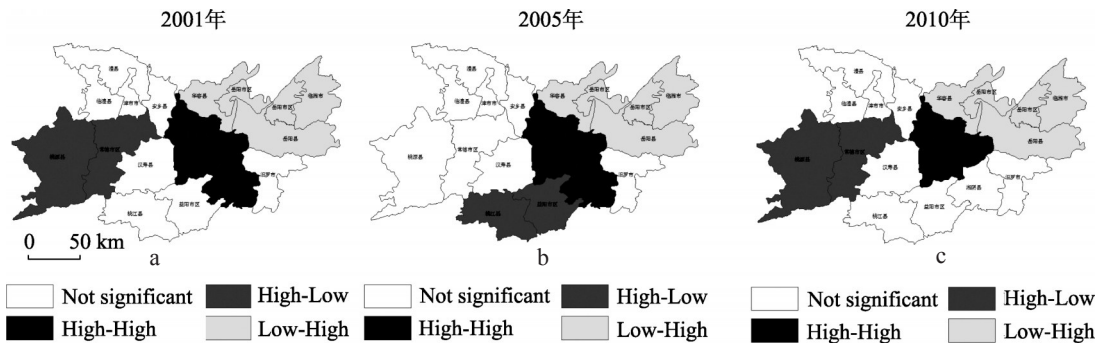


图6 洞庭湖区生态承载力的LISA集聚图 (P<0.05)

Fig. 6 LISA cluster of ecological carrying capacity in Dongting Lake region (P<0.05)

5.4 洞庭湖区生态承载力空间差异演变特征

空间差异演变过程在一定程度上反映出地理事物和现象的相对差异和变化趋势^[30]。将2001-2010年洞庭湖区县域生态承载力作为分析变量,计算出10个年份的变异系数(图7)。可以看出,洞庭湖区生态承载力的变异系数以2002年、2003年、2005年和2008年为折点,呈现出一个向左上倾的“雁阵”形状,具体体现在:2001-2002年波动性较小,2002-2003年略有上升,2003-2005年则有一个明显下降过程,2005-2008年保持着比较平稳的上升态势,2008-2010年则出现下降态势。这说明2001-2003年洞庭湖区生态承载力空

间相对差异明显较小, 2005年前后生态承载力空间相对差异较大; 相对2001-2003年, 2005年以来生态承载力空间上的相对差异明显扩大, 且这种较大的空间相对差异随着时间的推移呈现小幅波动趋势。

6 结论与讨论

(1) 基于时空演化视角, 运用探索性空间数据分析(ESDA)为主的

空间分析方法可以揭示洞庭湖区生态承载力时空相互作用及演化特征, 同时也增强了可视化效果。从理论上为生态承载力研究提供了新的视角和方法, 同时也为洞庭湖区生态修复、区域协调发展提供了科学决策依据。

(2) 生态承载力的空间异质性是生态系统固有的特性, 其时空格局演化往往受到人类活动的深刻影响^[31]。研究表明, 2001年以来洞庭湖区生态承载力在空间格局特征、空间关联特征和空间相对差异演变过程中表现出一定的规律性: 一是洞庭湖区生态承载力从西南向东北整体上呈现“W”型的空间格局, 倒“U”型的县域差异特征显著, 人类社会经济活动强烈、城镇化水平较高的常德市区、岳阳市区和益阳市区3个区域的生态承载力最低。二是空间关联上, 2001-2010年洞庭湖区生态承载力的分布并非表现出完全的随机性, 存在着正的全局空间自相关, 较高生态承载力的县域彼此相邻; 全局Moran's I值相差不大, 空间聚集程度比较稳定, 基本上趋于围绕某一偏低集聚度出现小范围内波动。生态承载力局部空间自相关的LISA集聚类型出现HH型、HL型和LH型3种类型, 依次集中分布在洞庭湖区的中部、西南部和东北部; 局部空间格局保持相对稳定, 3种集聚类型变化不大, 但是局部空间聚类特征显现出稍微变化的迹象, 反映出人类社会经济活动对生态承载力影响的空间差异性。三是2001-2010年洞庭湖区生态承载力空间相对差异的演变过程整体上呈现一定的差异性。2001-2003年相对差异较小, 趋于稳定; 2005年前后生态承载力空间相对差异较大, 尤其是2003-2005年间则有一个明显下降过程; 2005年以来生态承载力空间上的相对差异在平缓中呈现小幅波动趋势。

(3) 生态承载力是一个“自然—经济—社会”复杂系统^[1], 运用ESDA为主的空间分析方法探讨这个复杂系统的空间自相关和异质性特征是一种尝试。研究发现, 洞庭湖区县域社会经济发展与生态承载力之间协调性较差, 县域之间时空差异和极化效应明显。因此, 在构建“环洞庭湖生态经济圈”的实践过程中, 应因地制宜地调整土地利用类型和改变利用方式, 合理规划布局生态功能区, 优化产业结构, 持续推进“退耕还林还草”、“退田还湖平垸”等生态治理和恢复措施, 通过科技创新、循环经济和低碳模式, 提高资源利用率, 降低生态环境压力。在进行局部空间自相关分析时, 发现LISA集聚图中有不少属于没有意义的空白县域, 并未同时出现HH、LH、LL和HL4种类型, 这在某种程度上影响了分析结论的合理性和客观性。由于研究空间限于县域单元, 研究对象个数较少, 指标选取较单一, 研究尺度转换存在一定的局限性, 因此, 今后可以从多指标和多尺度的角度揭示生态承载力时空动态变化及发展趋势。

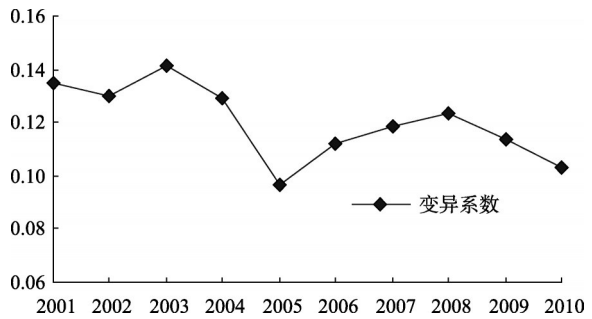


图7 洞庭湖区生态承载力的变异系数(2001-2010)

Fig. 7 Coefficient of variation of ecological carrying capacity in Dongting Lake region (2001-2010)

参考文献(References)

- [1] 高吉喜. 可持续发展理论探讨: 生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 12-28, 69.
- [2] 许联芳, 杨勋林, 王克林, 等. 生态承载力研究进展. 生态环境, 2006, 15(5): 1111-1116.
- [3] Wackernagel M, Galli A. An overview on ecological footprint and sustainable development: A chat with Mathis Wackernagel. *International Journal of Ecodynamics*, 2007, 2(1): 1-9.
- [4] Kathryn B B, Richard J B, Ross C, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological economics*, 1998, 27(2): 149-160.
- [5] Begum R A, Pereira J J, Jaafar A H, et al. An empirical assessment of ecological footprint calculations for Malaysia. *Resources, conservation and recycling*, 2009, 53(10): 582-587.
- [6] LIU Dong, FENG Zhiming, YANG Yanzhao, et al. Spatial patterns of ecological carrying capacity supply-demand balance in China at county level. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(5): 833-844.
- [7] Mamouni Limnios E A, Ghadouani A, Schilixxi S G M, et al. Giving the consumer the choice: A methodology for product ecological footprint calculation. *Ecological economics*, 2009, 68(10): 2525-2534.
- [8] 毛汉英, 余丹林. 区域承载力定量研究方法探讨. *地理科学进展*, 2001, 16(4): 549-555.
- [9] 荀斌, 于德永, 杜士强. 快速城市化地区生态承载力评价研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(1): 74-80.
- [10] 刘庄, 沈渭寿, 车克钧, 等. 祁连山自然保护区生态承载力分析. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(3): 19-22.
- [11] 蔡海生, 朱德海, 张学玲, 等. 鄱阳湖自然保护区生态承载力. *生态学报*, 2007, 27(11): 4751-4757.
- [12] 徐晓锋, 岳东霞, 汤红官, 等. 基于GIS的甘肃省生态承载力时空动态分析. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(5): 62-67.
- [13] 陈乐天, 王开运, 邹春静, 等. 上海市崇明岛区生态承载力的空间分异. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 734-739.
- [14] 岳东霞, 杜军, 刘俊艳, 等. 基于RS和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价. *生态学报*, 2011, 31(9): 2550-2558.
- [15] 潘竟虎, 冯兆东, 董晓峰. 甘肃省区域经济差异时空格局的ESDA-GIS. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(4): 45-50.
- [16] 靳诚, 陆玉麒. 基于县域单元的江苏省经济空间格局演化. *地理学报*, 2009, 64(6): 713-724.
- [17] 蒲英霞, 葛莹, 马荣华等. 基于ESDA的区域经济空间差异分析. *地理研究*, 2005, 24(6): 965-974.
- [18] 马晓冬, 马荣华, 徐建刚. 基于ESDA-GIS的城镇群体空间结构. *地理学报*, 2004, 59(6): 1048-1057.
- [19] 乔家君, 吴娜琳, 李德洗. 河南省农田利用集约度时空变化及其影响环境. *地理研究*, 2012, 31(9): 1598-1609.
- [20] 湖南省委省政府. 将环洞庭湖生态经济圈建设上升为国家战略. *长沙晚报*, 2012-3-7.
- [21] 董晓娅, 董明辉. 环洞庭湖区经济社会发展模式优化调控研究. *国土与自然资源研究*, 2011, (6): 4-7.
- [22] 段玉. 环洞庭湖区特色经济发展研究. *经济地理*, 2009, 29(7): 1112-1114.
- [23] 姜加虎, 黄群. 洞庭湖生态环境承载力分析. *生态环境*, 2004, 13(3): 354-357.
- [24] 孙占东, 黄群, 姜加虎. 洞庭湖主要生态环境问题变化分析. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(9): 1108-1112.
- [25] 陶卫春, 王克林, 等. 退田还湖工程对洞庭湖生态承载力的影响评价. *中国生态农业学报*, 2007, 15(3): 155-160.
- [26] 熊建新, 陈端吕, 谢雪梅. 基于状态空间法的洞庭湖区生态承载力综合评价研究. *经济地理*, 2012, 32(11): 138-142.
- [27] 窦鸿身, 姜加虎. 洞庭湖. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 3-10.
- [28] 国家环境保护部. 生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T192-2006). 北京: 中国环境科学出版社, 2006. 1-6.
- [29] 吕韬, 曹有挥. “时空接近”空间自相关模型构建及其应用: 以长三角区域经济差异分析为例. *地理研究*, 2010, 29(2): 351-360.
- [30] 徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2002. 32.
- [31] Yue D X, Xu X F, Hui C, et al. Biocapacity supply and demand in northwestern China-a spatial appraisal of sustainability. *Ecological Economics*, 2011, 70(5): 988-994.

Temporal and spatial evolutionary feature of ecological carrying capacity in Dongting Lake region

XIONG Jianxin¹, PENG Baofa¹, CHEN Duanlu¹, WANG Yali¹, ZHANG Meng²

(1. Resources Environment and Tourism College, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, Hunan, China;

2. College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410006, China)

Abstract: With the support of Arc GIS and Geo Da software and using exploratory spatial data analysis as well as percentile and coefficient of variation, this paper analyzes the spatial pattern and the evolution of the spatial autocorrelation characteristics and relative difference characteristics of ecological carrying capacity in the Dongting Lake region from 2001 to 2010. The results show that: (1) As a whole, the spatial distribution of ecological carrying capacity presents a W-shaped pattern from southwest to northeast and the difference of an inverted-U shape between counties are apparent. (2) As to spatial autocorrelation, the distribution of the ecological carrying capacity of global spatial autocorrelation is positive. There is spatial gathering between similar counties; Global Moran's I is almost the same in different counties; the degree of spatial aggregation is relatively stable and fluctuates around a low degree of aggregation within small scale; LISA cluster of local spatial autocorrelation can be divided into three types, including HH, HL and LH, which are in turn concentrated in the central, southwest and northeast parts of the Dongting Lake region; local spatial pattern remains relatively stable, but the clustering characteristics shows a sign of slight change. (3) As to the evolutionary process of relative differences, the ecological carrying capacity of the Dongting Lake region shows some differences from 2001 to 2010 as a whole. The relative difference is small from 2001 to 2003 and tends to be stable; there is relatively large difference before and after 2005; the relative difference since 2005 has become greater.

Key words: ecological carrying capacity; spatial autocorrelation; county scale; Dongting Lake region