

DOI: 10.5846/stxb201304150712

王耕, 苏柏灵, 王嘉丽, 朱正如. 基于 GIS 的沿海地区生态安全时空测度与演变——以大连市瓦房店为例. 生态学报, 2015, 35(3): 670-677.

Wang G, Su B L, Wang J L, Zhu Z R. Spatial-temporal assessments and evolution research of coastal eco-security based on gis—a case study of wafangdian county-level city. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 670-677.

## 基于 GIS 的沿海地区生态安全时空测度与演变 ——以大连市瓦房店为例

王 耕<sup>1,2,\*</sup>, 苏柏灵<sup>2</sup>, 王嘉丽<sup>2</sup>, 朱正如<sup>2</sup>

1 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029

2 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展中心, 大连 116029

**摘要:**以大连瓦房店市 2000 年、2005 年和 2010 年 Landsat TM 遥感影像(轨道号为 120/32, 120/33)作为数据源,在景观格局分析的基础上,基于压力-状态-响应(P-S-R)框架构建沿海地区生态安全评价体系,在 GIS 格网技术下量化多源数据,创建区域生态安全格网数据库,采用加权-模糊隶属度评价方法进行生态安全状态评价,并通过空间统计学方法对研究区生态安全格局时空演变进行分析,揭示沿海地区生态安全时空演变特点。结果表明:①2000—2010 年瓦房店市生态安全指数平均值分别为 0.4636、0.3878 和 0.3980,说明研究区生态安全恶化后又有缓升趋势,但西部沿海地区生态安全依然需要重视。②Moran's *I* 从 2000 年到 2010 年分别为 0.9015、0.8738 和 0.8703,表明瓦房店市生态安全指数在空间上存在较强的正相关关系,生态安全格局表现为高值区域倾向于与生态安全程度高的区域相毗邻,而生态安全程度低的区域倾向于与生态安全程度低的区域毗邻,2000—2005 年表现极为明显。③2000—2010 年瓦房店市生态安全指数的块金值分别为 0.0030、0.0007 和 0.0009,表明非结构因素对研究区生态安全空间分布影响效应逐渐增强,这与 10 年来瓦房店城市建设用地扩张、人类活动频繁的实际相符。 $C_0/(C_0+C)$ 值也是先增加后减少,表明非结构因素对研究区生态安全空间分异的影响效应先增强后减弱,2005 年以来随着大连市土地政策的实施与管理,城镇建设、人类活动等非结构因素对生态安全演变影响有所消减。

**关键词:**GIS;沿海生态安全;时空测度;演变;瓦房店

## Spatial-temporal assessments and evolution research of coastal eco-security based on gis—a case study of wafangdian county-level city

WANG Geng<sup>1,2,\*</sup>, SU Bailing<sup>2</sup>, WANG Jiali<sup>2</sup>, ZHU Zhengru<sup>2</sup>

1 Urban and Environmental School of Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development of Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

**Abstract:** In this study, taking the Landsat TM remote sensing images (track No. 120/32, 120/33) of Wafangdian County-level City in 2000, 2005 and 2010 as the data sources, the coastal ecological security evaluation system was established on the basis of landscape pattern analysis and pressure-state-response (P-S-R) framework. Grid database of coastal eco-security assessment was created by quantitative multi-source data with GIS grid technology. Eco-security status was estimated by the use of the weighted-fuzzy membership degree method. Temporal and spatial evolution of eco-security pattern was analyzed through spatial statistical methods in order to reveal evolution features of coastal region ecological safety as well. The results showed as follows: 1) The ecological safety index of Wafangdian County-level City from 2000 to 2010 was 0.4636, 0.3878 and 0.4636, respectively, which demonstrated eco-security situation had a slight improvement after deterioration, but we should pay more attention to perfect the ecological status in western coastal district. 2) Moran's *I* from

**基金项目:**教育部人文社科规划基金资助项目(13YJA790111);辽宁省社会科学界联合会 2013 年度辽宁经济社会发展立项课题(2013lslktzixjc-06)

收稿日期:2013-04-15; 网络出版日期:2014-04-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Innu\_wg@hotmail.com

2000 to 2010 was 0.9015, 0.8738 and 0.8703, respectively, which indicated there was a significant correlation of spatial evolution in the space. The characteristic of ecological safety pattern was that areas with high value was inclined to be close to the regions of better ecological eco-security status, while the low degree of eco-security status presented adverse tendency, which performed extremely obvious from 2000 to 2005. 3) The nuggets of eco-security index in Wafangdian County-level City was 0.0030, 0.0007 and 0.000903, respectively, which showed the non-structural factors played an ever-increasing role in spatial distribution of ecological safety in the study area, which was consistent with the actual conditions of urban construction land expansion and frequent human activities in the past decade. The change about value of  $C_0/(C_0+C)$  decreased as the speed increased initially and decreased afterwards, which reflected the impact of non-structural factors on the space differentiation of ecological security had experienced a consistent change trend. With the implementation of the land policy and management of Dalian City, the influence from non-structural factors such as urban construction and human activities on eco-security evolution has been cut down since 2005.

**Key Words:** GIS; coastal eco-security; spatial-temporal assessment; evolution; Wafangdian County-level City

在世界范围内竞相开发海洋的热潮下,随着人口向沿海地区集中,海岸带经济的迅速扩张对生态环境造成的威胁日益严重,人地(海)关系矛盾日趋尖锐,沿海地区生态安全倍受关注。Louisa S. Evans 以肯尼亚为例研究海岸带生态安全问题<sup>[1]</sup>;A.R. Farhan 以印度尼西亚群岛为例评价生态安全条件<sup>[2]</sup>。陈菁等进行海峡西岸生态安全评价<sup>[3]</sup>;廖丹等进行厦门湾海岸带开发的生态效应评价研究<sup>[4]</sup>;韩振华等基于景观格局研究辽河三角洲湿地生态安全<sup>[5]</sup>;于蓉蓉等对胶州湾大沽河口湿地景观生态安全格局进行研究<sup>[6]</sup>。沿海生态安全具有海陆空间的耦合性,海岸带产业发展方向、结构与布局,以及城市化等特点对生态安全的影响并非静态,而且具有空间差异,一个地区的生态安全与邻近地区戚戚相关。目前沿海生态安全评价方法主要有综合指数法<sup>[7-8]</sup>、生态足迹法<sup>[9-11]</sup>、景观生态学方法<sup>[12-13]</sup>和生态承载力方法<sup>[14]</sup>等。尽管沿海生态安全评价框架大多采用“压力-状态-响应”(P-S-R)机理框架<sup>[15-19]</sup>,但以行政区为评价单元的总体评价结论却难以说明生态安全空间差异,更难以表明生态安全的空间邻近影响关系演变,因此沿海生态安全的时空演变与分异研究更加具有实用性,更有利于指导人们因地制宜地进行海岸开发与管理。本文结合景观生态学与地统计学方法,通过研究区 2000 年、2005 年、2010 年 3 个时期的遥感影像、专题成果与统计数据,构建基于景观的生态安全评价体系,在 GIS 格网技术下对沿海生态安全进行时空测度,并分析其空间演变特征,旨在为区域生态安全时空演变与模拟研究提供方法,为瓦房店市城市化建设与规划提供决策依据。

## 1 研究区概况

大连瓦房店市位于辽东半岛中西部(图 1),地处北纬 39°20′—40°07′,东经 121°13′—122°16′,西濒渤海,东与普兰店接壤,南与金州区隔海相望,北与盖州接壤,海岸线长 461.2 km,占大连市海岸线总长度的 24.2%。全市所辖 13 个镇,8 个乡,总面积为 3793.53 km<sup>2</sup>。瓦房店市地势东北高西南低,千山余脉由东北向西南延伸,形成低山、丘陵、平原、陆地和滩涂结合的多种地貌类型,自然构成大体是“六山一水三分田”,属暖温带大陆性季风气候区,冬无严寒,夏无酷暑,四季分明。大连瓦房店是辽东半岛连接东西、跨越南北的交通要道,是渤海经济圈的扩散区域。随着辽宁沿海经济带建设步伐的加快,以及大连全面推进全域城市化战略的实施,瓦房店市作为大连北部地区经济增长极,其生态安全建设不仅是新兴工业城市可持续发展的目标,而且是大连和谐海洋建设的重要保障。

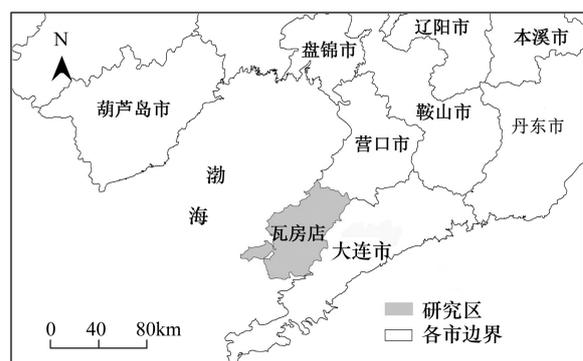


图 1 研究区位置示意图

Fig.1 Location map of the study area

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究中图形数据来源于 1:5 万大连市区划图;遥感数据来源于 2000 年、2005 年及 2010 年 Landsat TM 遥感影像(轨道号为 120/32,120/33);社会统计数据来源于 2010 年《大连统计年鉴》、《大连水资源公报》、《大连环境状况公报》;专题数据来源于大连市国土资源局地质灾害专题图、地表水质类型图、海水入侵分布图、地震烈度分区图等。为了便于多源数据的统计与计算,本文采用统一格网单元进行评价研究。首先在 ArcGIS 平台建立 1 km×1 km 的网格;其次数字化瓦房店地区,数据的投影类型选择为 Transverse-Mercator 投影;然后通过 ERDAS 软件对 2000 年、2005 年及 2010 年 3 个时期的遥感影像进行解译分类,得到 3 期的土地利用矢量图;最后将图形数据、遥感数据和社会经济统计数据通过 ArcGIS 插值与赋值计算输入到格网单元,建立 ArcGIS 格网数据库。

### 2.2 沿海生态安全状态评价模型

#### 2.2.1 评价指标体系与权重的确定

依据系统性、空间性、实用性以及数据获取可能性等原则,本研究选取 P-S-R 框架来建立指标体系,结合层次分析法(AHP)与熵值法确定各指标权重(表 1)。

表 1 沿海生态安全评价体系及指标权重

Table 1 The evaluation system and the index weight of eco-security of coastal region

指标 Index	数据来源 Data sources	权重 Weight			
		AHP 法 Analytical hierarchy process method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weight	
压力 Pressure	人口密度	统计年鉴数据	0.0149	0.0080	0.0115
	人均耕地面积	专题成果数据	0.0295	0.0461	0.0378
	工业能耗	统计年鉴数据	0.0457	0.0329	0.0393
	人均水资源	统计年鉴数据	0.1052	0.0107	0.0580
	人均粮食产量	统计年鉴数据	0.0368	0.0088	0.0228
	单位废水排放量	统计年鉴数据	0.0387	0.0300	0.0344
	单位废气排放量	统计年鉴数据	0.0206	0.0261	0.0233
	单位固废排放量	统计年鉴数据	0.0102	0.0023	0.0063
	地均化肥施用量	统计年鉴数据	0.0089	0.0445	0.0267
	临海工业风险源	调查统计数据	0.0267	0.0250	0.0259
状态 State	地表起伏度	DEM 数据	0.0164	0.0395	0.0280
	植被覆盖率	遥感影像数据	0.0210	0.0284	0.0247
	景观多样性指数 <sup>[13]</sup>	遥感影像数据	0.0175	0.2824	0.1500
	景观脆弱度指数 <sup>[13]</sup>	遥感影像数据	0.0054	0.0136	0.0095
	水土流失面积	专题成果数据	0.0135	0.0399	0.0267
	河流水质级别	专题成果数据	0.0071	0.0264	0.0167
	海水入侵面积	专题成果数据	0.0152	0.0165	0.0159
	地震烈度分区	专题成果数据	0.0114	0.0132	0.0123
响应 Response	景观干扰度指数 <sup>[13]</sup>	遥感影像数据	0.0071	0.0030	0.0050
	环保投资	统计年鉴数据	0.0753	0.0345	0.0549
	人均 GDP	统计年鉴数据	0.0451	0.0634	0.0542
	垃圾无害处理率	统计年鉴数据	0.1041	0.0390	0.0716
	千人拥有医生数	统计年鉴数据	0.0753	0.0255	0.0504
	在校生人数	统计年鉴数据	0.0755	0.0395	0.0575
	教育投资	统计年鉴数据	0.0518	0.0593	0.0556
废水达标率	统计年鉴数据	0.1209	0.0416	0.0813	

### 2.2.2 生态安全指数测算

生态安全评价的模型很多,由于生态安全是一个相对的概念,在安全与不安全之间存在着模糊的界限<sup>[20]</sup>,因此,本文选取模糊隶属度的方法作为生态安全评价的模型。在评价某区域系统生态安全状况时,根据影响生态安全状况的多个指标,以衡量这些指标的生态安全程度的标准值为比较依据,计算生态安全度。生态安全度可以用隶属度表示。

$$U_{(j)} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [W_i(r_{ij} - 1)]^p}{\sum_{i=1}^m (W_i \cdot r_{ij})^p} \right\}^{\frac{2}{p}}} \quad (1)$$

式中, $U_{(j)}$ 为生态安全度; $W_i$ 为第*i*项指标的权重; $p$ 为距离参数, $p=2$ (欧氏距离)计算; $r_{ij}$ 为第*i*项指标的值( $i=1,2,3,\dots,m;j=1,2,3,\dots,n$ )。 $U_{(j)}$ 越大生态安全度越高,反之生态安全度越低。

## 2.3 沿海生态安全时空演变统计学方法

### 2.3.1 空间自相关分析

地理与生态现象常常表现出空间相关效应。空间自相关分析方法为解释事物属性或现象的空间依赖关系提供了途径。空间自相关性的指标可分为全局指标和局部指标两种:全局指标用于验证整个研究区域某一要素的空间相关关系,而局部指标则用于反映整个大区域中的一个局部小区域单元上的某种地理现象或某一属性与相邻局部小区域单元上同一现象或属性的相关程度。本研究中运用全局空间自相关指标 Moran's *I* 和局部空间自相关指标 LISA (Local Indicators of Spatial Association) 来分析大连市瓦房店景观生态安全的空间特征。Moran's *I* 和 LISA 指标的计算公式如下<sup>[21-23]</sup>:

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}} \quad (2)$$

式中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $x_i$ 表示地*i*地区的观测值, $n$ 为栅格数, $W_{ij}$ 为二进制的进阶空间权值矩阵,表示空间队形的相互邻接关系。 $i=1,2,\dots,n;j=1,2,\dots,m$ ;当区域*i*和区域*j*相邻时, $W_{ij}=1$ ;当区域*i*和区域*j*不相邻时, $W_{ij}=0$ 。Moran's *I*值介于-1和1之间,大于0为正相关,小于0为负相关,绝对值越大,表示空间分布的关联性越大,即空间上有强聚集性或强相异性。反之,绝对值越小,表示空间分布关联性小,当值趋近0时,即代表此时空间分布呈随机性。

局部空间自相关 Local Moran's *I* (LISA)是将 Moran's *I* 分解到各个空间单元。对于某一个空间单元*i*,LISA 计算公式为:

$$\text{Moran's } I_j = \left( \frac{x_i - \bar{x}}{m} \right) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中, $m = \left( \sum_{j=1, j \neq i}^n x_j^2 \right) / (n-1) - \bar{x}^2$ ,正的 $I_i$ 值表示该区周围相似值(高值或低值)的空间集群,负的 $I_i$ 值则表示非相似值之间的空间集群。再根据下式计算出 LISA 的检验统计量,对有意义的局域空间关联进行显著性检验:

$$Z(\text{Moran's } I_i) = \frac{\text{Moran's } I_i - E(\text{Moran's } I_i)}{\sqrt{\text{Var}(\text{Moran's } I_i)}} \quad (4)$$

### 2.3.2 地统计学方法

地统计学是研究空间变异的有效方法,以区域化随机变量理论为基础,研究自然现象的空间相关性和随

机性,不仅可以解释属性或现象的空间相关,而且通过半变异函数可以模拟和估计空间上的未知变量<sup>[24]</sup>。景观生态安全指数本身是一种空间变量可采用地统计学中变异函数的方法,借助半方差函数进行景观生态安全程度的空间分析:

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

式中, $r(h)$ 是半变异函数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 是在 $x_i$ 和 $x_i+h$ 处的值; $h$ 为空间距离; $n(h)$ 为样本对数。实验数据用地质统计学软件GS<sup>+</sup>(version 9.0)进行变异函数计算。

### 3 结果与分析

#### 3.1 沿海地区生态安全时间演变特征

沿海地区生态安全指数计算如表2所示,格网专题地图如图2所示。2000年生态安全程度最低的是瓦房店南部的交流岛,北部和东北部(李官镇、许屯镇、万家岭镇、松树镇、得力寺镇)生态安全度较低;西部沿海地区生态安全度较高,其中生态安全度最高的地区为长兴岛镇。2005年沿海地区生态安全有了明显的变化。西部沿海地区的东港镇、仙浴湾镇、三台满族乡和中部的杨家满族乡生态安全状况明显下降,而北部的许屯和南部的交流岛生态安全又有所提高。这5年间变化最明显的是太阳街道。2010年与2005年相比,生态安全度没有明显变化,局部地区生态安全度有所提高。总体来说,2000—2010年,瓦房店地区生态安全度呈先下降后升高趋势。主要原因是,人口的增长和城市化进程的加快,沿海地区景观类型发生了变化,建设用地面积扩张占据了大量的农用地,人为活动的影响使生态环境受到的压力越来越大,生态系统稳定性逐步降低,导致生态安全度降低。随着环境保护措施的提出和对环境保护资金的投入,2010年较2005年生态安全状况有所提升。总体来看,2000—2005年期间研究区生态安全格局变化比2005—2010年期间明显,可见2000—2005年期间是瓦房店市生态安全格局变化的关键时期。生态安全度空间趋势面分析显示(图3):在南北方向和东西方向上,3个时期均呈现凸形曲线,2000年的趋势线呈明显凸形,且西高东低,沿海地区生态安全程度较高。2005年和2010年南北方向和东西方向的曲线都较为和缓,主要原因是,2000年,城市化发展缓慢,区

表2 瓦房店市不同时期生态安全指数  
Table 2 Eco-security Indexes (ESI) in Wafangdian in 2000, 2005 and 2010

时期 Period	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	方差 Variance	Moran's I
2000	0.1239	0.8190	0.4636	0.0170	0.9018
2005	0.1819	0.7571	0.3878	0.0101	0.8738
2010	0.1542	0.7622	0.3980	0.0113	0.8703

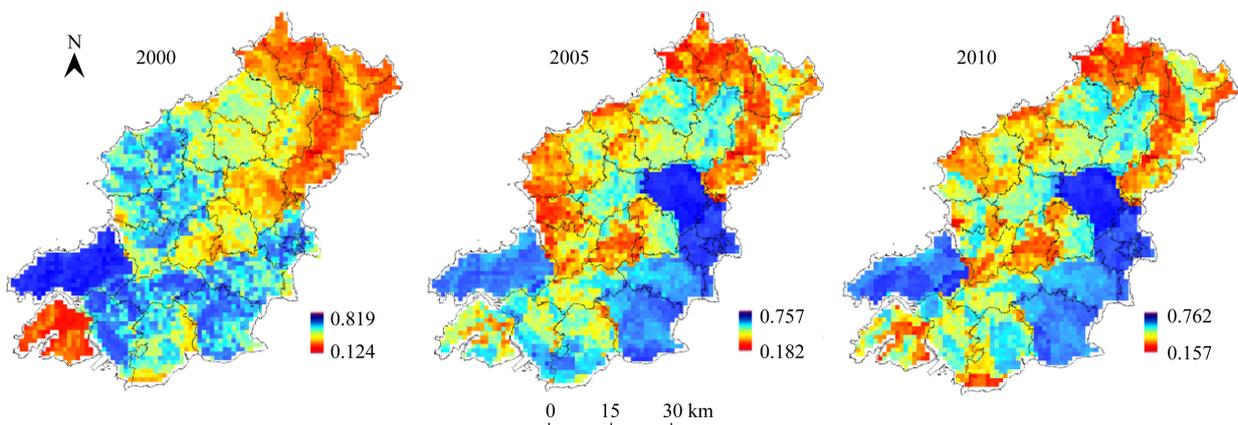


图2 瓦房店生态安全度分布

Fig.2 The space distribution of eco-security degree in Wafangdian city

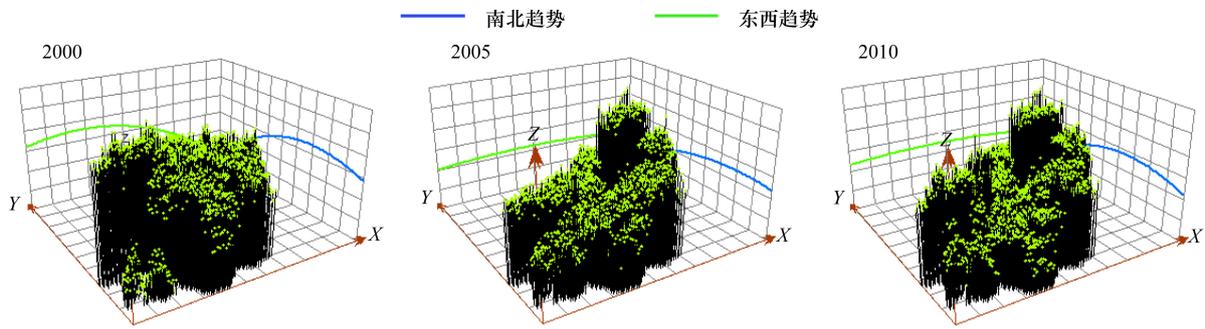


图3 瓦房店市 3 个时期生态安全空间趋势面显示

Fig.3 The trend surface of eco-security in Wafangdian in 2000, 2005 and 2010

域生态安全度整体较高,且人为活动对沿海地区的开发利用少。随着人口的增长、城市化进程的加快和面海发展,大面积的耕地转换为建设用地,人为活动对沿海地区生态环境造成威胁,使西部沿海地区生态安全度降低。

### 3.2 沿海地区生态安全空间演变特征

#### 3.2.1 沿海地区生态安全空间集聚特征

利用 Moran's *I* 指数判定区域生态安全空间相关性和聚集程度。2000 年、2005 年和 2010 瓦房店生态安全的 Moran's *I* 指数分别为 0.9015、0.8738 和 0.8703(图 4)。表明本区域生态安全在空间上有较强的正相关。通过 Moran 散点图可以定性区分每一区域与其周边区域某一属性值或某种地理现象的相互关系。Moran 散点图由 4 个象限组成,分别为 HH(“高-高”空间关联区)、LH(“低-高”空间关联区)、LL(“低-低”空间关联区)和 HL(“高-低”空间关联区)。落入 HH 和 LL 象限的观测值存在较强的空间正相关,具有均质性。落入 LH 和 HL 两个象限的观测值则表示存在较强的空间负相关,空间单元具有异质性。由图 4 可知,各年份生态安全度集中于 HH 和 LL 区。少量分布于 HL 和 LH 两个象限,表明瓦房店市生态安全具有较强的空间相关性,空间聚集格局显著。

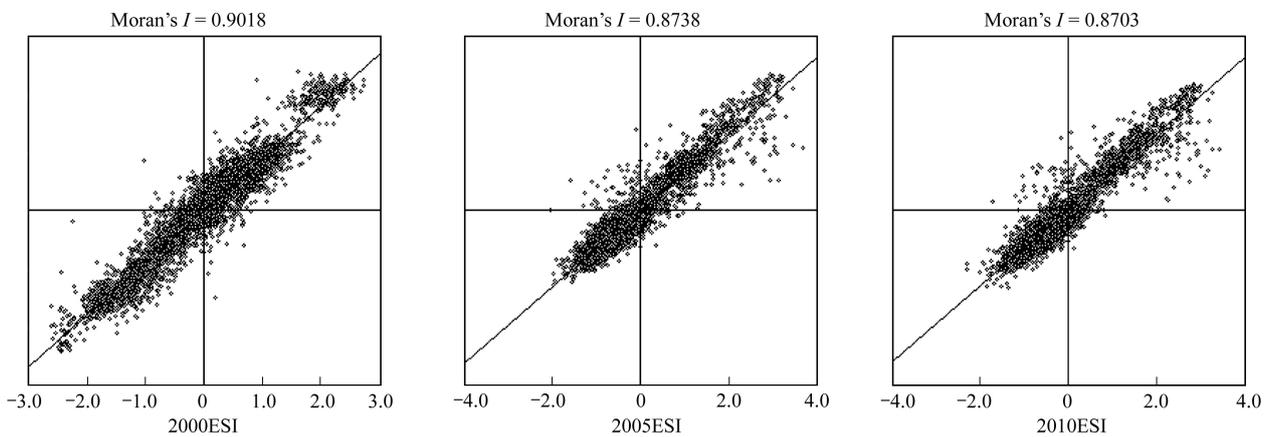


图4 Moran 散点图

Fig.4 Moran scatter plot

生态安全度的空间分布并不是随机的,存在一定的内在联系,即生态安全度在空间上存在聚集趋势。每个单元格对其周围都有不同程度的影响,生态安全度高的单元可以对其周围产生正面的影响,使其周围生态安全度提高;而低值的单元也可以影响到其周围的高-高值区域,使其生态安全度降低,生态环境恶化。瓦房店市 2000—2010 年生态安全格局的局部空间自相关 LISA 分析结果见图 5,生态安全度高值区倾向于与生态安全度高的区域相毗邻,而生态安全度低值区倾向于与生态安全度低的区域毗邻。2005 年和 2010 年瓦房店

市生态安全局域自相关格局较为一致,与 2000 年相比则有较大的格局变化。随着沿海开发战略的实施,人为活动对沿海地区生态安全的影响很大。沿海区域生态环境恶化,周围低值区对散布其中的高值区有负面的影响,2000 年瓦房店生态安全高-高值区分布于南部(长兴岛、炮崖乡、地台镇),西部沿海地区驼山乡,仙浴湾镇等也有小面积高-高值区;同时有较大面积的低-低值区分布在北部(李官镇、许屯镇、万家岭镇、松树镇)和西南部的交流岛。2000—2005 年间瓦房店生态安全集群格局发生了明显变化,高-高值区向北部(太阳街道、瓦房店市、李店镇、炮台镇)转移,西部沿海地区小面积的高-高值区转变为低-低值区,并且到 2010 年有大面积扩散趋势。2000 年交流岛地区是低-低值区,2005 年此地区低-低值区明显减少,2010 年此地区低-低值区呈零星分布,表明在这 10 年间,交流岛镇生态安全由不安全向安全转变。

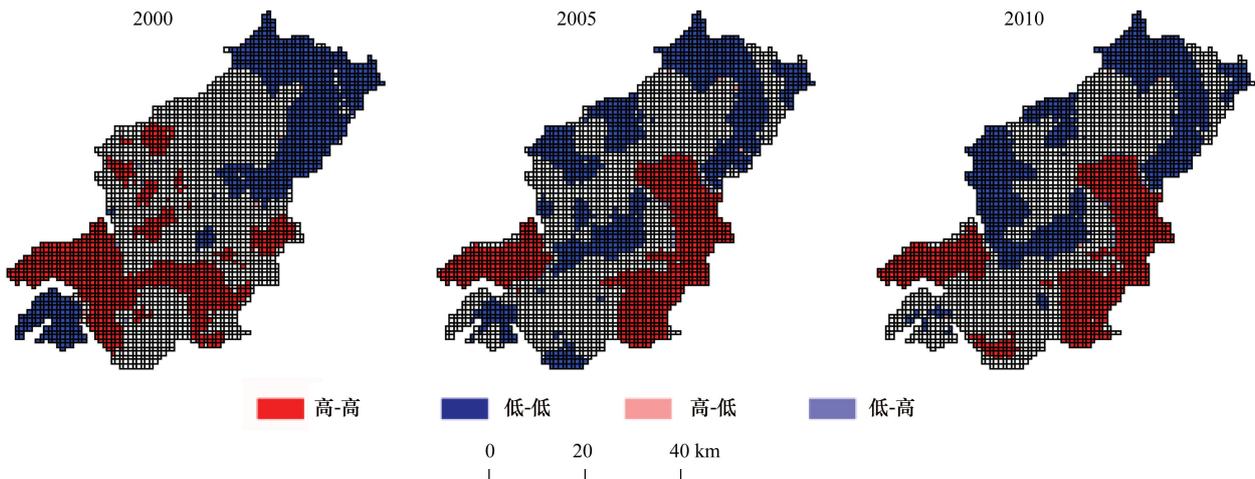


图 5 瓦房店市生态安全度局域空间自相关 LISA 集群图

Fig.5 The LISA cluster graph of local spatial autocorrelation in Wafangdian city

### 3.2.2 沿海地区生态安全空间分异特征

空间异质性主要由随机性和自相关性两部分组成。块金值反映的是随机部分的空间异质性,若块金值  $C_o$  较大表明此时较小尺度上的某种过程不可忽视。 $C_o/(C_o+C)$  的大小反映了自相关部分和随机部分对地理要素空间分异的影响程度,该比值小,非结构性因素影响大。这里结构性因素(内因)包括气候、地形地貌、土壤类型、植被类型等主导区域景观生态安全格局的空间分布的因素;而非结构因素或称随机因素(外因)包括各种自然灾害以及人为活动导致景观变化的因素。变程值  $a$  大小反映了研究区某一特征空间自相关的尺度状况,当取样尺度小于该值时各要素的空间分布存在自相关,说明此时研究区主要的生态学过程、格局及功能都与该尺度有关,而当取样尺度大于该值时,则要素呈随机性。运用地统计学方法对瓦房店市景观生态安全格局进行空间分异分析,各模型拟合结果见表 3。2000 年、2005 年和 2010 年均为球形模型拟合效果最佳,复相关系数  $R^2$  分别为 0.9390、0.8200 和 0.8520。2000 年较 2005 年和 2010 年复相关系数高,空间随机性程度低,这与空间自相关研究结果吻合。

2000 至 2010 年,瓦房店市景观生态安全指数的块金值效应整体上先减弱后增强,从 2000 年的 0.0030 下降到 2005 年的 0.0007,而 2010 年上升到 0.0009,表明研究区 2005 年到 2010 年非结构因素作用增强,不可忽视。 $C_o/(C_o+C)$  值也是先增加后减少,充分表明非结构因素对研究区景观生态安全空间分异影响效应先增强后减弱,这与 10 年来瓦房店城市建设用地扩张、人类活动频繁的实际情况相符,2005 年以来随着大连市土地政策的实施与管理,城镇建设、人类活动等非结构因素对生态安全演变影响有所消减。2000 年、2005 年和 2010 年研究区景观生态安全格局空间分异的变程在 23.1—137.3 km 之间,其中 2000 年变程最大(137.3 km),表明瓦房店市生态安全格局的相关性在缩小。

表 3 瓦房店景观生态安全理论变异函数

Table 3 The variogram of landscape eco-security indexes in Wafangdian

时期 Period	模型 Model	块金值 Nugget $C_0$	基台值 Sill $C_0+C$	变程 Range $a$	块金值/基台值 Nugget/ Sill $C_0/(C_0+C)$	$R^2$	残差 Residual Error RSS
2000	球形 Sphere	0.0030	0.0386	137.3	0.9220	0.9390	$3.212 \times 10^{-5}$
2005	球形 Sphere	0.0007	0.0110	23.1	0.9360	0.8200	$2.466 \times 10^{-5}$
2010	球形 Sphere	0.0009	0.0112	23.9	0.9170	0.8520	$2.062 \times 10^{-5}$

#### 4 结论与讨论

(1) 景观格局的变化必然引起生态系统功能的改变,同时,人类的活动主要是在景观层次上进行的,景观成为研究人类活动对环境影响的适宜尺度,也是沿海地区生态环境研究的基础单元。本文结合景观指数所建立的生态安全评价模型,运用空间自相关和地统计学中的变异函数,分析不同时期研究区内的景观生态安全结构动态,丰富了沿海生态安全时空演变研究实例。

(2) 运用 GIS 格网技术可以有效的调节研究区的空间尺度,尤其是将指标格网化之后,对区域生态安全研究要比传统以行政单元划分研究区域进行生态安全空间分异研究有很大的优势。本文以  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  格网为基本评价单元,能够很好地研究瓦房店生态安全时空分异,为揭示区域生态安全分异规律提供参考依据。

(3) 沿海地区生态系统的复杂性决定了其研究必须采用复杂系统的理论方法,特别是建立或应用基于复杂系统思想的数学模型来对沿海城市生态安全演变模拟与预测具有较强的理论价值和实践意义。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Evans L S. Ecological knowledge interactions in marine governance in Kenya. *Ocean and Coastal Management*, 2010, 53(4): 180-191.
- [ 2 ] Farhan A R, Lim S. Vulnerability assessment of ecological conditions in Seribu Islands, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 2012, 65: 1-14.
- [ 3 ] 陈菁,吴端旺.快速城市化中海峡西岸的生态安全评价. *生态学杂志*, 2010, 29(12): 2491-2497.
- [ 4 ] 廖丹,张璐平,方秦华,赵孜苗.厦门湾海岸带区域人类开发活动的生态效应评价. *浙江万里学院学报*, 2010, 23(2): 48-53.
- [ 5 ] 韩振华,李建东,殷红,申屠亚瑾,徐聪.基于景观格局的辽河三角洲湿地生态安全分析. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 701-705.
- [ 6 ] 于蓉蓉,谢文霞,赵全升,徐振,刘文龙.基于景观格局的胶州湾大沽河口湿地生态安全. *生态学杂志*, 2012, 31(11): 2891-2899.
- [ 7 ] 张小虎,雷国平,袁磊,李辉,田庆昌.黑龙江省土地生态安全评价. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(1): 88-93.
- [ 8 ] 袁磊,雷国平,张小虎.资源型城市土地生态安全评价——以大庆市为例. *地域研究与开发*, 2009, 28(6): 80-85.
- [ 9 ] 王耕,王嘉丽,苏柏灵.基于 ARIMA 模型的辽河流域生态足迹动态模拟与预测. *生态环境学报*, 2013, 22(4): 632-638.
- [ 10 ] 杨木壮,吴涛,谢鸿宇.基于生态足迹的沿海地区生态承载力评价——以汕头市为例. *国土与自然资源研究*, 2013, (2): 34-36.
- [ 11 ] 薛若晗.基于生态足迹的福州仓山区生态安全评价. *环境科学导刊*, 2013, 32(1): 82-85, 90-90.
- [ 12 ] 黄宁,杨绵海,林志兰,杨德伟,黄云凤.厦门市海岸带景观格局变化及其对生态安全的影响. *生态学杂志*, 2012, 31(12): 3193-3202.
- [ 13 ] 游魏斌,何东进,巫丽芸,洪伟,詹仕华,覃德华,游惠明.武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律. *生态学报*, 2011, 31(21): 6317-6327.
- [ 14 ] 张浩,汤晓敏,王寿兵,郭林,雍怡,王祥荣.珠江三角洲快速城市化地区生态安全研究——以佛山市为例. *自然资源学报*, 2006, 21(4): 615-624.
- [ 15 ] 高香玲,王耕.沿海城市生态安全评价及预测研究——以大连市为例. *海洋开发与管理*, 2009, 26(10): 96-101.
- [ 16 ] 高宾,李小玉,李志刚,陈玮,何兴元,齐善忠.基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析. *生态学报*, 2011, 31(12): 3441-3450.
- [ 17 ] 孙磊,孙英兰,周震峰.青岛市海岸带生态系统压力综合评价指标体系研究. *海洋环境科学*, 2009, 28(5): 584-587.
- [ 18 ] 孙翔,朱晓东,李杨帆.港湾快速城市化地区景观生态安全评价——以厦门市为例. *生态学报*, 2008, 28(8): 3563-3573.
- [ 19 ] 李文杰,张时煌. GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用. *生态学报*, 2010, 30(23): 6674-6681.
- [ 20 ] 王耕.辽河流域生态安全隐患评价与预警研究.大连:大连海事大学出版社, 2012: 105-148.
- [ 21 ] Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [ 22 ] 卢亚灵,颜磊,许学工.环渤海地区生态脆弱性评价及其空间自相关分析. *资源科学*, 2010, 32(2): 303-308.
- [ 23 ] Sokal R R, Oden N L, Thomson B A. Local spatial autocorrelation in a biological model. *Geographical Analysis*, 1998, 30(4): 331-354.
- [ 24 ] 谢花林.基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析. *生态学报*, 2008, 28(10): 5020-5026.