

文章编号: 1000-5641(2018)03-0222-12

## 胶州湾海岸带生态脆弱性时空变化分析

庞立华, 孔范龙, 郝敏, 李悦

(青岛大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 基于研究区2000年和2016年遥感数据,从景观生态学的角度出发,结合生态环境特征,选取斑块数、斑块密度、分维数倒数、植被覆盖度指数和土地利用生态适宜度构建景观脆弱度及土地生态脆弱度模型,对胶州湾海岸带区域生态脆弱度的时空变化规律进行探讨.结果表明:近16年间,研究区整体以一级、二级脆弱区为主,其中,生态脆弱度减少趋势的比例为17.52%,37.48%的样本区土地利用生态脆弱度指数增大,土地生态脆弱性增强.各地类整体平均土地生态脆弱度排序为:其他用地>耕地>林地>建设用地>水域,其他用地、耕地、林地系统稳定性及抗干扰能力弱.土地生态脆弱性的分布总体呈东北、西南部重,外延逐渐减轻,各级脆弱性之间的转化呈现出明显差异及空间分异性特征.黄岛区区域一级、三级脆弱区面积变化较大,一级、二级脆弱区所占比例减少,胶州市区域二级脆弱区变化最大,一级、二级脆弱区成为主体,市中区区域较其他区域变动程度低,城阳区区域五级脆弱区较其他区域增加明显.人口、政策及社会经济发展是导致生态脆弱区时空变化的关键因素.

**关键词:** 海岸带; 景观格局; 时空变化; 生态脆弱性

**中图分类号:** X826 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2018.03.023

## Spatio-temporal changes of ecological vulnerability in the Jiaozhou Bay Coastal Zone

PANG Li-hua, KONG Fan-long, XI Min, LI Yue

(School of Environmental Science and Engineering, Qingdao University,  
Qingdao Shandong 266071, China)

**Abstract:** Using remote sensing data from 2000 and 2016 in the study area, the temporal and spatial variations of regional ecological vulnerability in the the Jiaozhou Bay Coastal Zone were studied based on landscape ecology and the characteristics of the ecological environment. Models of landscape vulnerability and land ecological vulnerability were established by characterizing the number of patches, patch density, reciprocal of fractal dimension, vegetation coverage index, and ecological suitability of land use. The results showed that in the past 16 years, the whole study area was predominantly level one and level two vulnerable areas, among which the proportion of vulnerability reduction

收稿日期: 2017-07-06

基金项目: 国家自然科学基金(41771098); 山东省自然科学基金(ZR2014DQ028, ZR2015DM004)

第一作者: 庞立华, 女, 硕士研究生, 研究方向为湿地景观变化. E-mail: 2430147947@qq.com.

通信作者: 郝敏, 女, 博士, 副教授, 研究方向为湿地变化及环境效应. E-mail: ximin2008@126.com.

was 17.52%. When the ecological vulnerability index of land use in 37.48% of sample areas increased, the land ecological vulnerability also increased. The ranking of overall average ecological vulnerability for all the use types was: other land > cultivated land > forest land > construction land > water area; the stability and anti-interference ability of other land, farmland, and forest land system were weak. The distribution of ecological vulnerability of land was generally heavy in the Northeast and Southwest, gradually reduced by extension, and conversion between different levels of vulnerability showed significant differences and spatial heterogeneity. In Huangdao District, the area of level one and level three vulnerability changed greatly, while the proportion of level one or level two vulnerable areas decreased. The change of the level two vulnerable areas in Jiaozhou increased the most, and the level one and level two vulnerable areas became the most predominant. The Central district of the city had a lower level of change than other regions. The level five vulnerable areas in Chengyang district increased significantly compared with other regions. These results indicate that population, policy, and social and economic development were the key factors that lead to temporal and spatial variation in the ecological vulnerable areas.

**Keywords:** coastal zone; landscape pattern; temporal and spatial variation; ecological vulnerability

## 0 引言

生态脆弱性是生态系统固有的一种属性,主要是指生态环境受到的外界压力超过自身恢复能力,而引起敏感性变化并朝不宜利用的方向发展<sup>[1]</sup>. 区域生态环境脆弱性评价结果将为生态资源和生态环境保护、土地经营、资源合理利用及区域可持续发展提供重要的指导<sup>[2]</sup>. 国内外对生态脆弱性的研究主要集中在评价方法、模型和应用性等方面,并开展了定性和定量的研究,目前已经形成了模糊综合评判法<sup>[3]</sup>、层次分析法(AHP)<sup>[4]</sup>、主成分分析法<sup>[5]</sup>、PSR模型<sup>[6]</sup>等一系列生态脆弱性评价方法. 然而,这些评价方法存在主观性强、缺乏灵活性等问题,已不能满足区域可持续发展的要求<sup>[7]</sup>. 如今,3S技术发展迅速,以此技术为支撑的景观格局评价能够从地学空间分析的视角出发,建立景观空间特征与生态环境的联系,分析环境脆弱状况,解决了生态环境脆弱评价模型的建立及评价指标体系方面的难题,已被广泛应用到不同区域的生态脆弱性或安全性评价中<sup>[8-11]</sup>. 相关研究主要集中在农牧交错带<sup>[12]</sup>、山区<sup>[13]</sup>、流域湿地<sup>[14-15]</sup>和矿区<sup>[16]</sup>等典型脆弱区,且多侧重于静态脆弱性评价分析,而针对时空尺度的演变分析相对匮乏.

海岸带生态系统具有显著的海陆两相性,其作为海陆经济活动相互作用的空间载体,已经成为我国经济活力最为充沛的区域<sup>[17]</sup>. 由于人口增长及对资源的不合理开发,大量海岸带原生生境遭到破坏,景观动态变化剧烈,其生态恶化问题愈加严重<sup>[18]</sup>. 对于海岸带的景观格局研究主要方向为景观格局与土地利用变化特征<sup>[19]</sup>、景观格局动态变化的驱动力<sup>[20]</sup>以及景观格局空间异质性特征<sup>[21]</sup>等. 景观格局空间特征与生态环境之间关系密切,在自然作用与人类活动的双重干扰下,海岸带生态系统与环境极易发生功能性紊乱,由一种状态转变为另一种状态,最终造成其区域的生态脆弱性<sup>[22]</sup>. 故以景观格局变化的角度探究生态脆弱性分级与时空变化逐渐成为脆弱区研究的热点. 胶州湾海岸带地处山东半岛蓝色经济区,为人类赖以生存及经济资源开发利用的敏感区域. 2000年以来,经过“十五”计划到“十二五”规划实施,

城市建设及人口、经济增长等使胶州湾海岸带地区产生了生态环境脆弱、土地退化及生态压力增大等一系列问题,造成了土地利用及景观格局的剧烈变化,从而影响了胶州湾海岸带的生态过程。

部分学者对胶州湾区域进行了相关研究,李振等<sup>[23]</sup>以1989年至2000年土地利用变化进行对比分析,苏大鹏等<sup>[24]</sup>以2000年至2009年为研究尺度,凌涛等<sup>[25]</sup>选取1986年、2000年和2006年为时间点。这些研究大多以五年至十年左右为时间尺度,且2000年为重要的时间节点。为此,本文以胶州湾海岸带为研究区,将2000年和2016年作为时间节点,选取具有代表性的斑块数、斑块密度、分维数倒数、植被覆盖度指数及土地利用生态适宜度指数,表征景观类型脆弱度,以此来构建土地生态脆弱度评价模型,分析研究区“十五”计划至“十二五”规划实施前后的土地生态脆弱性时空变化,掌握其生态脆弱特征,识别其影响因素,为其生态安全保障和海岸带持续发展提供支撑。

## 1 研究区概况

胶州湾(36°01'~36°15'N, 120°03'~120°25'E)坐落于黄海中部、胶东半岛南岸,是山东省青岛市境内与黄海相通的半封闭性海湾。胶州湾湾口朝向东南,东西宽约27.8 km,南北长约33.3 km,平均水深7 m,湾内最大水深64 m。胶州湾海岸属于潮汐作用为主的海岸,潮汐为典型的正规半日潮,平均潮差2.71 m,年平均降雨量为900 mm,年均温度12℃,无霜期220 d左右,属于温带季风气候,受海洋季风调节,冬季寒冷干燥、夏季高温多雨,雨热同季,四季分明<sup>[26]</sup>。注入胶州湾的河流有大沽河、墨水河、白沙河、洋河、李村河等十几条河流,河流携带的大量泥沙在河口区形成较宽阔的河口三角洲、潮坪等地貌单元。胶州湾的北部为即墨盆地,西北部为胶莱冲积平原,山脉主要有东部的崂山,南部和西南部的小珠山,由此形成的青岛市地形特征为东西两翼地势高,中间低,并逐步过渡为马鞍形,胶州湾即位于鞍形的底部。根据20世纪80年代全国海岸带综合调查的土地利用调查原则,本文根据沿海乡镇和行政中心在海岸线10 km内的乡镇确定研究区范围<sup>[23]</sup>。研究区涉及区域包括4个部分:市中区区域(市南区、市北区、李沧区及崂山区部分区域)、城阳区区域、胶州市区区域和黄岛区区域,面积分别为199.45, 493.38, 95.81和287.45 km<sup>2</sup>。各市研究区域如图1所示。胶州湾海岸带现有耕地243.12 km<sup>2</sup>、林地133.82 km<sup>2</sup>、水域36.71 km<sup>2</sup>,区域经济发展导致的人口膨胀及城市化等问题,使得区域土地的利用程度加剧,土地利用类型向单一化发展,从而使近16年来,研究区内土地生态功能在时间空间上发生良性或不稳定双重变化。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据处理

基础数据:数字化行政区划图,2000年、2016年ETM+/OLI遥感影像(30 m分辨率),DEM数字数据(90 m×90 m)等。

数据处理:基于RS和GIS技术,对胶州湾海岸带的2000年及2016年两期ETM+/OLI遥感影像进行辐射定标、大气校正、几何精校正、图像增强和裁剪等处理,得到研究区两期遥感影像基础数据。对其解译,划分为耕地、建设用地、林地、水域和其他用地5类土地利用类型,解译精度在80%以上,获得数字化土地利用类型图。解译数据转化为grid文件,用以计算景观格局指数。从研究区90 m×90 m分辨率的SRTMDEM数据中提取坡度信息,并对坡度进行分级,与土地利用数据进行叠加,以计算土地生态适宜度指数。根据研究区范围

和采样的工作量, 将研究区划分为  $2\text{ km} \times 2\text{ km}$  的正方形作为评价单元, 采样方式为等间距, 共有 314 个采样区, 计算每一样本区的土地生态脆弱度指数, 利用 ArcGIS 软件提取研究区每个样本区中心点坐标, 并将样本区土地生态脆弱度指数赋给中心点, 在此基础上进行普通克里格法插值, 并根据脆弱度指数分级标准进行重分类, 获得研究区土地生态脆弱度空间分布图. 软件平台为 ArcGIS 10.2 及 Fragstats 3.3.



图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 景观类型脆弱度指标选取

生态脆弱性是自然和人为因素综合作用的结果, 结合前人研究成果<sup>[27-28]</sup>, 在反映景观稳定性及所受干扰强度的景观格局指数中, 选取斑块数 ( $NP$ )、斑块密度 ( $PD$ ) 及分维数倒数 ( $FI$ ) 结合植被覆盖度构成区域生态脆弱性的敏感性因子. 景观格局指数差异与土地利用类型变化密切相关<sup>[29]</sup>, 故以土地利用生态适宜度作为土地生态脆弱性的适应性因子. 景观格局指数通过软件 Fragstats3.3 计算得出, 各景观格局指数的计算公式及指标含义见文献 [30] 和 [31]. 研究过程如图 2 所示.

### 2.2.2 指标标准化与权重确定

由于不同评价指标的量纲与物理意义存在差异, 无法直接进行生态脆弱性评价, 因此需要对各项评价指标进行标准化处理, 解决参数不可比的问题<sup>[32]</sup>, 标准化后值在 0-1 之间. 正相关指数和负相关指数分别采用如下计算式进行标准化计算.

$$\text{正相关: } P_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}}, \quad (1)$$

$$\text{负相关: } P_{ij} = \frac{X_{i \max} - X_{ij}}{X_{i \max} - X_{i \min}}. \quad (2)$$

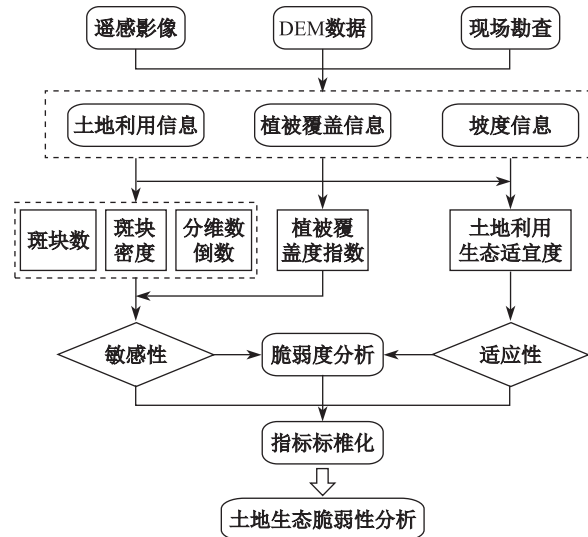


图2 研究方法流程图

Fig.2 Flow chart of research methods

其中,  $P_{ij}$  表示第  $i$  个评价对象相对于第  $j$  个评价指标的标准化值,  $X_{ij}$  为第  $i$  个评价对象相对于第  $j$  个评价指标的真实值,  $X_{i\min}$ 、 $X_{i\max}$  为第  $j$  个评价指标中的最小值与最大值。

权重计算方法为熵权法<sup>[33]</sup>, 用此方法确定各指标权重可以更加客观地反映各指标在评价指标体系中的贡献, 并能真实反映其重要程度。熵权法的原理是通过信息熵来判断信息量, 从而确定指标权重。其公式为:

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}, \quad (3)$$

$$W_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}. \quad (4)$$

其中,  $m$  为评价对象个数,  $n$  为评价指标个数;  $H_j$  为第  $j$  个指标的熵值,  $P_{ij}$  为标准化后第  $i$  个评价对象相对于第  $j$  个评价指标的数值与总指标矩阵和的比值, 当  $P_{ij} = 0$  时,  $P_{ij} \ln P_{ij} = 0$ ;  $W_j$  为第  $j$  个指标的权重。

### 2.2.3 敏感、适应因子及景观脆弱度指数计算

基于 NDVI 数据及解译的研究区 2000 年及 2016 年植被分类数据, 将研究区植被覆盖度分为低覆盖度、中覆盖度和高覆盖度三级, 分别赋值 0.85、0.50 和 0.20 作为植被覆盖指数的相对作用分。各地类的植被覆盖度指数计算公式如下<sup>[34]</sup>:

$$VC_i = \sum_{j=1}^n \frac{A_{ij}}{A_i} \times W_j, \quad (5)$$

式中:  $VC_i$ ,  $i$  地类类型的植被覆盖指数;  $A_{ij}$ ,  $i$  地类分布在  $j$  植被覆盖等级上的面积;  $A_i$ ,  $i$  地类总面积;  $W_j$ ,  $j$  等级植被覆盖的相对作用分;  $i$ , 各土地利用类型;  $j$ , 植被覆盖等级;  $n = 5$  为土地利用类型总数。

土地利用生态适宜性表征了区域生态环境的好坏, 从一定程度上反映区域生态环境的自我恢复能力。本文以土地利用生态适宜性作为土地生态脆弱性的适应性因素, 在其计算

中, 将坡度分为  $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ,  $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ,  $8^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ,  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,  $35^{\circ}\sim 90^{\circ}$  5 个级别, 分别赋值 0.85, 0.65, 0.35, 0.25, 0.15. 其公式为<sup>[35]</sup>:

$$P_i = \sum_j^n \frac{A_{ij}}{A_i} \times P_{ij}, \quad (6)$$

式中:  $P_i$ , 某一土地利用类型生态适宜度;  $n$ , 坡度等级数;  $j$ , 坡度级别;  $A_{ij}$ ,  $j$  坡度级别内  $i$  类土地的面积;  $A_i$ ,  $i$  类地类总面积;  $P_{ij}$ , 适应度权重.

敏感性越强, 景观越脆弱, 适应能力越强, 景观越稳定, 因此以敏感性指数与适应性指数的比值表示景观类型脆弱度<sup>[36]</sup>, 得出景观类型脆弱度指数计算模型为:

$$VI_i = \frac{\alpha NP_i + \beta PD_i + \gamma FI_i + \delta VC_i}{P_i}, \quad (7)$$

式中:  $VI_i$ , 景观类型  $i$  的脆弱度指数;  $NP_i$ ,  $PD_i$ ,  $FI_i$ ,  $VC_i$ ,  $P_i$ , 景观类型  $i$  的斑块数、斑块密度、分维倒数、植被覆盖度以及土地利用生态适宜度;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , 权重,  $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$ , 分别取值 0.15、0.30、0.30、0.25.

#### 2.2.4 土地生态脆弱度指数计算模型

景观类型脆弱度指数只反映了各个景观类型的脆弱性特征, 不能从空间反映整个生态环境脆弱性. 需构建使景观类型脆弱度指数空间化的模型, 将各景观类型脆弱度指数经面积加权得到土地生态脆弱度指数计算模型如下<sup>[37]</sup>:

$$EVI = \sum_i^n \frac{A_i}{TA} \times VI_i, \quad (8)$$

式中:  $EVI$ , 土地生态脆弱度指数;  $A_i$ ,  $i$  景观类型面积;  $n$ , 景观类型个数;  $TA$ , 样本区总面积;  $VI_i$ ,  $i$  景观类型的脆弱度指数.

#### 2.2.5 评价标准的确定

为便于比较土地生态脆弱性的 大小, 应用 ArcGIS 软件的自然断点法制定本研究区分级标准, 经过不断调整, 最终将研究区生态脆弱度指数分级为一级脆弱区 ( $<0.04$ )、二级脆弱区 ( $0.04\sim 0.1$ )、三级脆弱区 ( $0.1\sim 1$ )、四级脆弱区 ( $1\sim 2$ ) 及五级脆弱区 ( $>2$ ).

### 3 结果与讨论

#### 3.1 景观类型脆弱度分析

根据土地生态脆弱度指数计算模型得出土地生态脆弱度指数 (见表 1). 综合分析研究区整体平均土地生态脆弱度排序为其他用地  $>$  耕地  $>$  林地  $>$  建设用地  $>$  水域, 这表明其他用地、耕地、林地系统稳定性不强, 对外界干扰反应敏感, 恢复力差, 受外界干扰发生退化的几率大. 对得出的指数分析得: 耕地、林地、建设用地  $PD$ 、 $NP$  值大, 其内破碎度程度比其他地类高, 其中, 林地为动物栖息地, 人类活动对林地的破坏会影响动物的生存及发展. 耕地和水域  $PD$ 、 $NP$  呈增加趋势说明整个景观的镶嵌度减少, 景观的空间异质性增强<sup>[38]</sup>, 人类对耕地及水域影响增强, 应当制定相关政策防止耕地及水域的不合理开发及利用. 2000 年建设用地分维数倒数最高, 耕地次之, 表明建设用地和耕地受人 为干扰较大, 2016 年其他用地、水域及耕地分维数倒数增加, 主要是因人口增长及产业结构变化, 导致对其他用地、水域及耕地的人为干扰增强. 2000 年其他用地、建设用地植被覆盖度指数较高, 其中其他用地以渔盐

业用地及裸地为主, 植被覆盖率小, 耕地及林地为增加趋势, 说明植被脆弱度增加, 植被受到破坏的机率变大. 耕地、建设用地及林地生态适宜度呈减少趋势, 反映出这些地类恢复能力减弱, 脆弱性增强. 2000 年以耕地、林地及其他用地景观脆弱性指数最高, 这与区域经济发展造成的耕地、林地及其他用地人为干扰加剧密切相关, 2016 年耕地、建设用地及其他用地呈减小趋势, 林地、水域呈增加趋势, 反映出区域内存在林地破坏与水域缩减的危机.

表 1 2000 年及 2016 年景观类型脆弱度指数

Tab. 1 Vulnerability indexes of the landscape types in 2000 and 2016														
类型	NP		PD		FI		VC		PI		VI		EVI	
	2000	2016	2000	2016	2000	2016	2000	2016	2000	2016	2000	2016	2000	2016
耕地	0.158 1	0.217 2	0.162 0	0.217 5	0.044 9	0.045 1	0.057 9	0.142 9	0.316 6	0.238 3	1.030 3	0.695 1	0.507 9	0.695 1
建设用地	0.139 2	0.124 2	0.139 5	0.123 5	0.078 7	0.049 2	0.199 2	0.138 2	0.334 1	0.276 5	0.441 5	0.427 6	0.440 5	0.427 6
林地	0.155 4	0.143 7	0.155 5	0.143 8	0.043 4	0.040 4	0.083 2	0.147 1	0.262 1	0.254 6	0.517 7	0.635 6	0.517 7	0.635 6
水域	0.100 3	0.132 1	0.100 2	0.132 2	0.034 5	0.039 9	0.213 1	0.183 3	0.265 3	0.266 8	0.407 7	0.438 3	0.407 7	0.438 3
其他用地	0.091 2	0.067 1	0.091 2	0.067 1	0.027 1	0.056 8	0.364 2	0.242 3	0.119 5	0.174 8	1.154 6	0.668 6	1.154 6	0.668 6

注: NP 斑块数; PD 斑块密度; FI 分维倒数; VC 植被覆盖率; PI 土地生态适应度; VI 景观类型脆弱度指数; EVI 土地生态脆弱度指数

3.2 土地生态脆弱性时空变化分析

3.2.1 土地生态脆弱性时间变化

由研究区 2000 年和 2016 年 314 个评价单元土地生态脆弱度指数可知, 各评价单元变化趋势包括减少、不变及增加. 其中, 减少趋势占全区面积比例为 17.52%, 而 16 年来研究区 37.48% 的样本区土地利用生态脆弱度指数增大, 土地生态脆弱性增强. 由研究区评价单元土地生态脆弱度指数各级所占面积得出 (见图 3), 2000 年和 2016 年, 各生态脆弱区面积变化趋势不一, 一级脆弱区呈减少趋势, 二级、三级、四级和五级脆弱区呈增加趋势. 一级脆弱区在 16 年间急剧减少, 平均年减少率为 0.75%; 二级、三级、四级和五级脆弱区平均年增长率为 0.44%, 0.16%, 0.08%, 0.07%. 由青岛统计信息网查阅 2000—2016 年相关信息, 青岛市人口数增加 215 万人, 经济快速发展导致产业结构由 12.1:48.7:39.2, 调整为 3.7:41.6:54.7, 第三产业占主导地位明显. 胶州湾海岸带为青岛市发展的核心区域, 人口的快速增长及社会经济的快速发展是导致研究区高生态脆弱性面积增加的关键因素<sup>[39]</sup>.

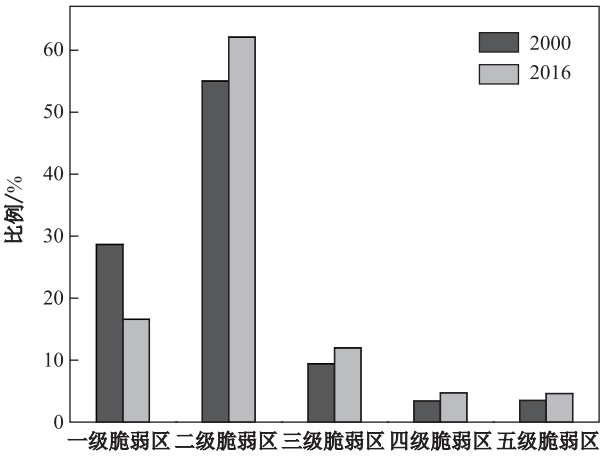


图 3 研究区各评价等级脆弱性面积所占比例

Fig. 3 The proportion of vulnerability areas at each classification level

各区域脆弱性等级面积及结构变化差别明显 (见表 2 和图 4), 主要情况为: 黄岛区区域一

级、三级脆弱区面积变化较大, 一级、二级脆弱区所占比例减少; 胶州市区域二级脆弱区变化增加最多, 一级、二级脆弱区为主体; 市中区区域较其他区域变动程度较低; 城阳区区域五级脆弱区较其他区域变化突出. 黄岛区区域内一级、三级脆弱区变化面积分别占其变化量的 36.75%、39.54%, 结构上一级脆弱区减少 20.23%, 三级、四级脆弱区增加 21.77%、5.76%, 自 2012 年以来, 新黄岛经济区开发区建设, 使较高脆弱区等级面积及比重增加. 胶州市区域二级脆弱区面积增加, 占其总变化量的 45.53%, 一级、三级、四级脆弱区面积减少, 至 2016 年胶州市区域内仅被一级、二级脆弱区覆盖, 说明其内土地开发强度不高, 对土地的利用程度处于衰退趋势. 市中区区域各脆弱区面积及结构变化不显著, 其原因为 2000 年以后, 市区内城市发展程度衰减, 建设用地中部分土地转为耕地, 以减轻城市用地大量肆意的占用耕地所带来的损失<sup>[40]</sup>. 城阳区区域五级脆弱区增加面积占其内变化量的 46.37%, 一级、三级脆弱区面积减少, 由图 4 中明显看出二级、五级脆弱区比重扩张, 这主要是因为城阳区快速工业化的进程及土地利用方式的粗放管理使土地利用呈现出耕地迅速减少而建设用地迅速增加的状态. 张丽君等<sup>[41]</sup>对城阳区研究得出区域内建设用地扩展迅速、开发区规划无序、土地利用不当等问题, 从侧面说明其脆弱区等级升高的必然性.

表 2 各行政分区生态脆弱区面积变化

分区	面积变化/km <sup>2</sup>				
	一级脆弱区	二级脆弱区	三级脆弱区	四级脆弱区	五级脆弱区
黄岛区区域	-57.73	-12.34	62.11	16.44	-8.48
胶州市区域	-35.30	51.97	-13.44	-13.44	0
市中区区域	-0.22	-5.92	7.50	-0.77	-0.59
城阳区区域	-36.13	42.07	-28.67	1.65	21.08

注: “-”号为减少

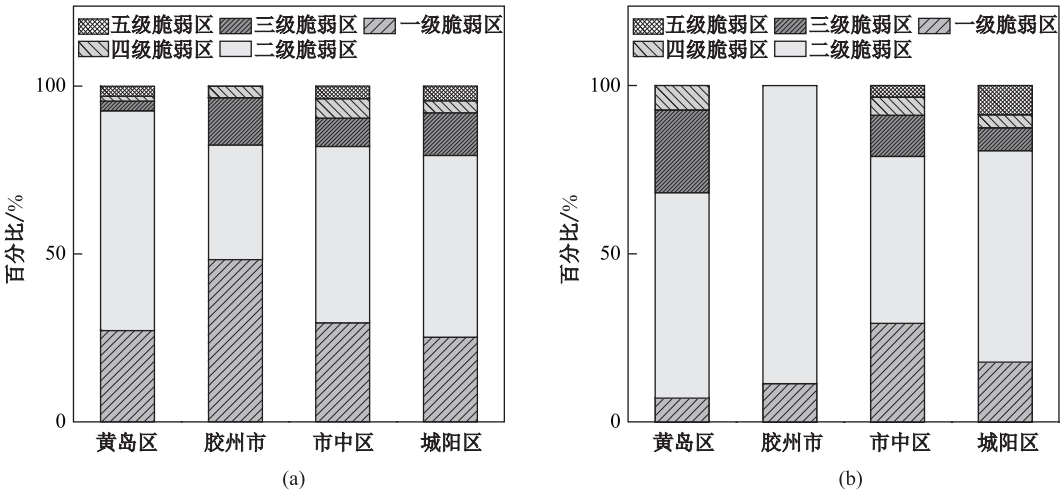


图 4 2000 年 (a) 及 2016 年 (b) 各分区生态脆弱区结构

Fig. 4 Structure of ecological fragile areas in each partition

3.2.2 土地生态脆弱性空间变化

从脆弱度空间分布图 (见图 5) 可直观的看出: 土地生态脆弱性的分布总体呈东北、西南部重, 外延逐渐减轻的特征. 三级、四级及五级脆弱区主要分布在东北部及西南部海拔高的区域, 并且有移动及扩展现象, 一级、二级脆弱区主要是四级、五级脆弱区连线两侧. 具体分布情况如下: 2000 年研究区土地生态脆弱度指数为 0.605 7, 脆弱度指数整体较高. 四级、



五级脆弱区占研究区面积比重分别为 3.40% 和 3.49%, 主要分布于海岸带部分的黄岛区区域西南部和市中区区域东部、东北部及城阳区区域中部、东南部. 一级、二级脆弱区占全区面积的 28.66% 和 55.02%, 分散于各区域, 并大范围存在. 三级脆弱区占全区比重为 9.42%, 主要分布于城阳区区域中部、胶州市区域南部及四、五级脆弱区外层区域. 而 2016 年脆弱度指数为 0.573 1, 整体为减弱趋势. 张菁等<sup>[41]</sup>对延安地区的研究也显示生态脆弱性为减弱趋势, 这与张龙等<sup>[37]</sup>对宁安市研究结果相反, 生态脆弱性的强弱变动与城市建设用地和耕地的剧烈变动及退耕还林政策的实施有很大关系. 四级、五级脆弱区占研究区面积比重分别为 4.72% 和 4.61%, 比重增加并向周边区域蔓延. 一级、二级脆弱区占全区面积的 16.58% 和 62.11%, 一级脆弱区较 2000 年面积减少, 图 5 中可直观看出城阳区区域中部及胶州市区域南部区域三级、四级脆弱区向二级转变, 使二级脆弱区面积增加. 三级脆弱区占全区比重增加到 11.97%, 在海岸带东北部、西南部区域扩张. 各脆弱区面积变化与胶州湾海岸带城市扩张相关, 2000 年之后市内土地开发接近饱和, 城市扩展缓慢, 城市重心发生转移, 在“拥湾发展”战略思想下胶州湾海岸带区域城市重心向东北、西南方向扩展<sup>[40]</sup>, 造成总体三级、四级、五级脆弱区面积增加.

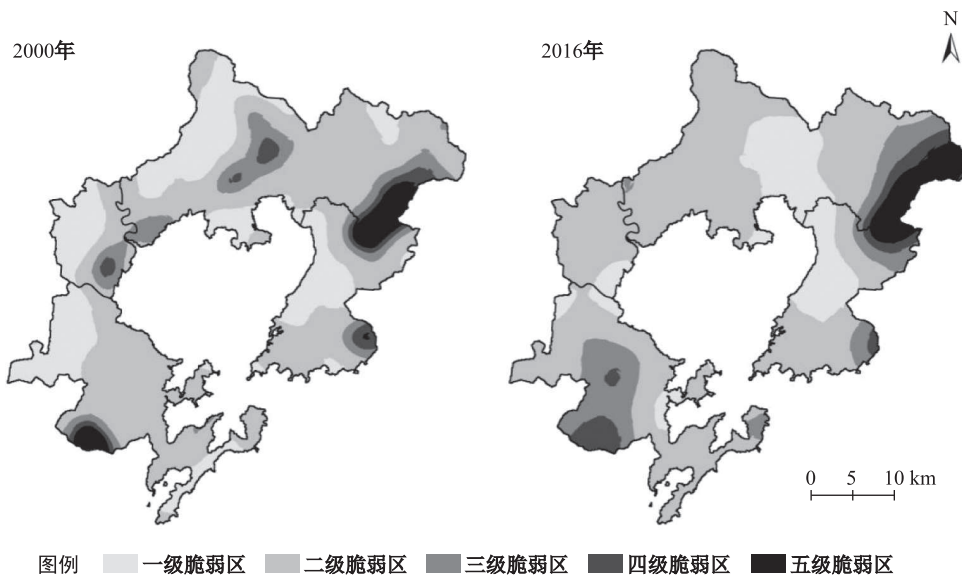


图 5 研究区土地生态脆弱度空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of ecological vulnerability

2000—2016 年, 胶州湾海岸带地区各级脆弱性之间的转化呈现出显著差异和空间分异性特征, 见表 3 和图 6. 该时段一级脆弱区主要向二级脆弱区转化, 转化比例占 79.23%, 主要分布于研究区部分的黄岛区区域、城阳区区域北部以及胶州市区域西北部等, 这些部分为耕地及草地覆盖区, 开发程度相对较慢. 二级脆弱区中 379.89 km<sup>2</sup> 保持不变, 减少的去向是转化为三级、四级、五级脆弱区, 对于四级、五级脆弱区贡献比重分别为 42.51% 和 38.80%. 三级脆弱区向其他分区均发生转化, 一级、二级脆弱区转化面积占 76.07%. 四级脆弱区向五级脆弱区转化占变化面积的 30.65%, 其分布区域处于城阳区区域与市中区区域交接处的高发展区域. 五级脆弱区仅向三级、四级脆弱区发生转化, 说明五级脆弱区内开展保护措施, 使脆弱程度降低. 二级脆弱区向四级、五级过渡比例大, 应在相应的区域实行保护措施, 控制区域发展速度, 使其保持良性发展. 2000 年左右, 由于人口压力, 人们破坏草地林地, 开垦耕地, 导致生态环境状况逐渐恶化, 近年来随着城市发展重心的转移以及保护政策开展<sup>[24]</sup>, 林地及耕地有一定程度恢复, 总体生态环境状况好转.

表 3 生态脆弱区空间转移矩阵

Tab. 3 Spatial transfer matrix of ecologically fragile areas km<sup>2</sup>

2000 年	2016 年				
	一级脆弱区	二级脆弱区	三级脆弱区	四级脆弱区	五级脆弱区
一级脆弱区	56.15	243.36	7.63	0	0
二级脆弱区	87.02	379.89	94.43	17.34	11.08
三级脆弱区	26.71	39.27	15.46	10.51	9.30
四级脆弱区	7.86	3.19	7.46	9.81	8.18
五级脆弱区	0	0	3.36	12.94	21.13

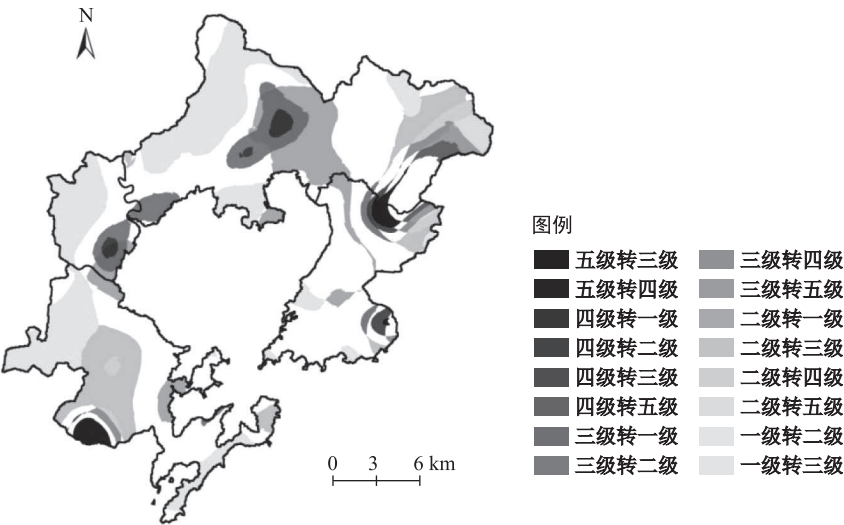


图 6 土地生态脆弱区空间转向图

Fig. 6 Spatial steering diagram of land ecological vulnerability

4 结 论

胶州湾海岸带土地生态脆弱度综合排序为其他用地>耕地>林地>建设用地>水域, 其他用地、耕地、林地系统稳定性不强, 受外界干扰发生退化的机率大. 研究时段内, 耕地、林地、建设用地破碎度程度变化比其他地类高, 且耕地、建设用地及林地生态适宜度呈减少趋势, 表明其恢复能力减弱, 脆弱性增强, 受人为影响变大. 耕地、建设用地及其他用地景观脆弱性指数减小, 林地、水域增加, 区域内存在林地破坏与水域缩减的危机.

从时间上看, 研究时段内, 土地生态脆弱度指数减少趋势占全区比例为 17.52%, 37.48% 的样本区土地利用生态脆弱度指数增大, 土地生态脆弱性增强, 区域内四级、五级分区占比例增加导致一级、二级脆弱区缩减. 黄岛区区域一级、三级脆弱区面积变化较大, 一级、二级脆弱区所占比例减少; 胶州市区域二级脆弱区变化增加最多, 一级、二级脆弱区为主体; 市中区区域较其他区域变动程度低; 城阳区区域五级脆弱区较其他区域变化突出. 人口及城市化导致的社会经济发展造成了土地利用管理粗放, 这是研究区高生态脆弱性面积增加的关键因素.

从空间上看, 一级、二级脆弱区占主要级别. 2000 年及 2016 年土地生态脆弱度指数分别为 0.605 7, 0.573 1, 整体为减弱趋势, 城市发展重心的转移及保护政策开展, 林地及耕地有一定程度的恢复, 总体生态环境状况好转. 研究区土地生态脆弱性的分布总体呈东北、西南部重, 外延逐渐减轻的特征. 三级、四级及五级脆弱区主要分布在东北部及西南部海拔高的区域, 分布

逐渐扩大,一级、二级脆弱区主要是四级、五级脆弱区连线两侧.胶州湾海岸带地区各级脆弱性之间的转化呈现出显著差异和空间分异性特征,其中,二级对于四级、五级脆弱区贡献比重分别为42.51%和38.80%.二级脆弱区向四级、五级过渡比例大,应该对相应的区域应该实行保护措施,控制区域发展方向及速度.

对胶州湾海岸带土地生态脆弱性分析可知,研究区“十五”计划至“十二五”规划期间,生态脆弱性总体为减弱趋势,但由生态脆弱性等级空间分布可看出高生态脆弱区在城阳区区域东部及黄岛区区域中部集聚扩张.一方面应着重改善此区域的高速经济发展造成的土地利用方式的粗放管理现状,例如,地类中以其他用地、耕地、林地等土地生态脆弱度指数较高,应该对土地的开发进程进行科学合理管制,优化生态系统内景观格局,保持区域生态系统的良性发展.另一方面要加强对林地及草地保护,减少对草地、林地的开发占用,在湿地公园、建设周边及废弃荒地等区域合理规划用地,增加植被覆盖率.

### [参 考 文 献]

- [1] 吴健生,宗敏丽,彭建.基于景观格局的矿区生态脆弱性评价——以吉林省辽源市为例[J].生态学报,2012,31(12): 3213-3220.
- [2] 张笑楠,王克林,张伟,等.桂西北喀斯特区域生态环境脆弱性[J].生态学报,2009,29(2): 749-757.
- [3] LIU D, CAO C X, DUBOVYK O, et al. Using fuzzy analytic hierarchy process for spatio-temporal analysis of eco-environmental vulnerability change during 1990–2010 in Sanjiangyuan region, China [J]. Ecological Indicators, 2016, 73: 612-625.
- [4] SAHOO S, DHAR A, KAR A. Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic Hierarchy Process based model [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2016, 56: 145-154.
- [5] 钟晓娟,孙保平,赵岩,等.基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价[J].生态环境学报,2011,20(1): 109-113.
- [6] 余中元,李波,张新时.社会生态系统及脆弱性驱动机制分析[J].生态学报,2014,34(7): 1870-1879.
- [7] 贾运娜,王蕾.基于层次分析法的鹤岗市煤矿区生态脆弱性评价[J].安徽农业科学,2016,44(15): 92-93.
- [8] LIAO X Q, LI W, HOU J X. Application of GIS based ecological vulnerability evaluation in environmental impact assessment of master plan of coal mining area [J]. Procedia Environmental Sciences, 2013, 18(18): 271-276.
- [9] 徐庆勇,黄玫,李雷,等.晋北地区生态环境脆弱性的GIS综合评价[J].地球信息科学学报,2013,15(5): 705-711.
- [10] 王丽婧,席春燕,付青,等.基于景观格局的三峡库区生态脆弱性评价[J].环境科学研究,2010,23(10): 1268-1273.
- [11] 封建民,郭玲霞,李晓华,等.基于景观格局的陕北资源富集区生态脆弱性评价——以陕西省神木县为例[J].水土保持通报,2015,35(4): 271-276.
- [12] 王让虎,李晓燕,张树文,等.东北农牧交错带景观生态安全格局构建及预警研究——以吉林省通榆县为例[J].地理与地理信息科学,2014,30(2): 111-115.
- [13] SONG G B, CHEN Y, TIAN M R, et al. The Ecological Vulnerability Evaluation in Southwestern Mountain Region of China Based on GIS and AHP Method [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2(6): 465-475.
- [14] SADEGH S H, HAZBAVI Z. Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran) [J]. Science of the Total Environment, 2017, 587-588: 168-176.
- [15] XIE H L, YAO G R, LIU G Y. Spatial evaluation of the ecological importance based on GIS for environmental management: A case study in Xingguo county of China [J]. Ecological Indicators, 2015, 51: 3-12.
- [16] 廖雪琴,李巍,侯锦湘.生态脆弱性评价在矿区规划环评中的应用研究——以阜新矿区为例[J].中国环境科学,2013,33(10): 1891-1896.
- [17] 王春子,陈凤桂,王金坑.海岸带地区协调发展研究——以福建省为例[J].中国人口资源与环境,2013(S2): 122-128.
- [18] 欧维新,杨桂山,李恒鹏,等.苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析[J].地理科学,2004,24(5): 610-615.
- [19] 秦存轩,王珊珊,王亮.盐城海岸带景观格局与土地利用变化分析[J].环境科学与管理,2012,37(11): 46-49.
- [20] 孙晓宇,苏奋振,吕婷婷,等.珠江口西岸土地利用景观格局变化及驱动力分析[J].地球信息科学学报,2009,11(4): 436-441.
- [21] 索安宁,关道明,孙永光,等.景观生态学在海岸带地区的研究进展[J].生态学报,2016,36(11): 3167-3175.
- [22] 刘健.胶州湾海岸带环境脆弱性分析[J].海洋环境科学,2016,35(5): 750-755.
- [23] 李振,黄海军.胶州湾海岸带土地利用/覆被变化研究[J].国土资源遥感,2010,22(4): 71-76.
- [24] 苏大鹏,刘健,胡刚.近年胶州湾海岸带土地利用与土地覆被变化与驱动力[J].海洋地质前沿,2011(5): 53-58.
- [25] 凌涛,李鹏,左小清.青岛市土地利用演化驱动力因素分析[J].安徽农业科学,2016,44(13): 257-262.
- [26] 谢文霞,朱鲲鹏,崔育倩,等.胶州湾河口湿地土壤有机碳及氮含量空间分布特征研究[J].草业学报,2014,23(6): 54-60.

- [27] 黄莹,包安明,刘海隆,等. 基于景观格局的新疆生态脆弱性综合评价研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 261-266.
- [28] 王介勇,赵庚星,杜春先. 基于景观空间结构信息的区域生态脆弱性分析——以黄河三角洲垦利县为例[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3): 317-321.
- [29] MO W B, WANG Y, ZHANG Y X, et al. Impacts of road network expansion on landscape ecological risk in a megacity, China: A case study of Beijing [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 1000-1011.
- [30] 张绪良,张朝晖,徐宗军,等. 胶州湾滨海湿地的景观格局变化及环境效应[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 190-200.
- [31] ZHANG S H, FAN W W, LI Y Q, et al. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 34-45.
- [32] 马骏,李昌晓,魏虹,等. 三峡库区生态脆弱性评价[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7117-7129.
- [33] HE C, HAN Q, VERIS B D, et al. Evaluation of sustainable land management in urban area: A case study of Shanghai, China [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 80: 106-113.
- [34] 时卉,杨兆萍,韩芳,等. 自然遗产地生态脆弱性分析与评价——以托木尔区域为例[J]. 干旱区地理(中文版), 2013, 36(2): 318-328.
- [35] 张晓萍,李锐,杨勤科. 基于RS/GIS的生态脆弱区土地利用适宜性评价[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(4): 30-36.
- [36] 高凤杰,张柏,王宗明,等. 退耕还林对牡丹江区域生态环境脆弱性的影响研究[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 322-328.
- [37] 张龙,宋戈,孟飞,等. 宁安市土地生态脆弱性时空变化分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 133-137.
- [38] CAMPAGNARO T, FRATE L, CARRANZA M L, et al. Multi-scale analysis of alpine landscapes with different intensities of abandonment reveals similar spatial pattern changes: Implications for habitat conservation [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 74: 147-159.
- [39] 周松秀,田亚平,刘兰芳. 南方丘陵区农业生态环境脆弱性的驱动力分析——以衡阳盆地为例[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 938-944.
- [40] 崔垚. 基于GIS的青岛市城市空间扩展与配置优化研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [41] 张丽君,黄贤金,邬震,等. 宏观调控背景下快速工业化城郊土地利用分析及政策研究——以青岛城阳为例[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 233-236.
- [42] 张菁,侯康,李旭祥,等. 基于GIS和RS的延安地区土地利用及生态脆弱性评价[J]. 测绘与空间地理信息, 2015(6): 26-31.

(责任编辑: 张 晶)