

甬台温海岸带景观格局及生态脆弱性时空演变特征

王奇¹, 李伟芳², 寇相玮¹, 傅杰超¹, 胡慧¹

(1. 宁波大学 地理与空间信息技术系, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: [目的] 分析浙江省宁波市、台州市及温州市的海岸带土地利用景观格局及生态脆弱性演变特征, 以促进海岸带地区可持续发展, 为生态建设及修复提供理论支撑。[方法] 基于甬台温海岸带 1995—2015 年三期土地利用数据, 采用“压力度—敏感度—恢复力”评价模型对研究区进行景观类型脆弱度和生态脆弱度评测。[结果] ①景观格局变化表现为: 耕地面积减少最多, 其次为滩涂和林地; 建设用地面积增加最多; 耕地、林地斑块数量增多, 呈破碎化趋势。②生态脆弱度高区域集中在杭州湾南岸的余姚市、慈溪市和台州湾的路桥区, 20 a 来研究区高脆弱度区域增多, 整体生态脆弱度增加。③区域生态脆弱度与扰动指数、破碎度呈显著正相关, 和景观脆弱度指数则完全相关。[结论] 甬台温海岸带景观类型变化明显, 生态脆弱性增强。

关键词: 景观格局; 生态脆弱性; 甬台温海岸带; 时空演变

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0297-07

中图分类号: P737.1, U412.1⁺4

文献参数: 王奇, 李伟芳, 寇相玮, 等. 甬台温海岸带景观格局及生态脆弱性时空演变特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 297-303. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.043; Wang Qi, Li Weifang, Kou Xiangwei, et al. Temporal and spatial evolution characteristics of landscape pattern and ecological vulnerability in Yongtaiwen coastal zone[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 297-303.

Temporal and Spatial Evolution Characteristics of Landscape Pattern and Ecological Vulnerability in Yongtaiwen Coastal Zone

Wang Qi¹, Li Weifang², Kou Xiangwei¹, Fu Jiechao¹, Hu Hui¹

(1. Department of Geography & Spatial Information Technology, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China; 2. Faculty of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

Abstract: [Objective] An analysis of the land-use landscape pattern and a evolution characteristics of the ecological vulnerability were carried out for the coastal zones in the cities of Ningbo, Taizhou, and Wenzhou in the Zhejiang Province. This was aimed at promoting the sustainable development of the coastal zone and for providing a theoretical support for ecological construction and restoration. [Methods] Based on the land use data of the 1995—2015 phase III of the Yongtaiwen coastal zone, the “pressure-sensitivity-resilience” evaluation model was used to evaluate the landscape type vulnerability and the ecological vulnerability of the study area. [Results] ① The change in the landscape pattern was as follows: The area of the cultivated land decreased the most, which was followed by tidal flats and woodland. Further, the area of construction land increased the most, and the amount of patches of cultivated and forest lands were observed to increase, showing a fragmentation trend. ② The areas with high ecological vulnerability were concentrated in Yuyao, Cixi City, and the Luqiao District of Taizhou Bay located on the south bank of Hangzhou Bay. In the past 20 years, the high vulnerability regions of the observed area had increased, and the overall ecological vulnerability had also intensified. ③ The regional ecological vulnerability was significantly and positively correlated with the

收稿日期: 2019-07-22

修回日期: 2019-09-17

资助项目: 浙江省哲社规划课题“东海区海岸带资源与社会经济发展报告”(16JDGH005)。

第一作者: 王奇(1995—), 男(汉族), 安徽省阜阳市人, 硕士研究生, 主要研究方向: 海岸带环境与资源开发研究。Email: jowong77@163.com。

通讯作者: 李伟芳(1964—), 男(汉族), 浙江省宁波市人, 学士, 教授, 研究生导师, 主要从事土地资源管理与规划研究。Email: liweifang@nbu.edu.cn。

disturbance index and the fragmentation degree; further, it was completely associated with the landscape vulnerability index. [Conclusion] Various landscape types in the Yongtaiwen coastal region have significantly changed and the ecological vulnerability has been observed to increase.

Keywords: landscape pattern; ecological vulnerability; Yongtaiwen coastal zone; temporal and spatial evolution

人口的快速增长和社会经济的高速发展使得生态环境问题成为制约社会可持续发展的重要因素^[1]。海岸带是海陆系统的过渡地带,人类活动最为活跃集中的地带,亦是典型的生态脆弱区^[2],快速的开发建设需求改变了生态系统结构和服务功能,复杂的自然过程及人类活动威胁着人地关系的和谐^[3]。在人类活动向海岸带扩张的同时,海岸带生态环境问题也日益严重^[3-6]。因此在人类活动高强度利用的海岸带区域开展生态脆弱性研究有利于海岸带的可持续发展^[7]。生态脆弱性研究由于具有地理学和生态学交叉学科的特殊性,也受到众多研究者的重视。当前学者对生态脆弱评价方法主要包括定量评价法^[8]、模糊评价法^[9]、生态脆弱性指数(EFI)法、综合指数评价法^[10]等。卢远等^[11]构建景观类型干扰度和区域生态脆弱度模型对左江流域的生态脆弱进行综合定量分析和评价;孙才志等^[12]构建景观格局脆弱度指数借助空间自相关分析方法对下辽河平原空间景观格局进行探讨;任志远等^[13]在银川盆地土地利用变化对景观格局脆弱度的影响做了分析。大多数学者对景观格局及生态脆弱性研究集中在江河流域、内陆等^[14-15],对海岸带的景观格局脆弱度及生态脆弱性研究尚不多见,且部分学者在进行区域生态脆弱研究时仅构建了景观格局模型或者生态脆弱度模型进行分析,鲜有对两者的相关性方面作阐述^[16-17]。本文在选取景观格局指数构建评价模型对研究区景观脆弱度和生态脆弱度进行评测时,分析了景观格局与生态脆弱性的相关性,以期对甬台温海岸带未来生态建设及修复提供理论支撑,促进海洋经济及区域可持续发展。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

宁波、台州和温州 3 个城市的沿海陆域简称甬台温海岸带,位于中国东南沿海,地处长江三角洲南端,浙江省东部,地形以平原和丘陵为主,地势西高东低,地理位置处于 27°03′—30°33′N, 120°23′—122°16′E 之间。从研究的数据获取角度考虑,本文所研究的甬台温海岸带界定为沿海乡镇街道,共涉及 3 市,20 个区(县),146 个乡镇(街道),研究区面积共 7 697.62 km²。其中自北向南将甬台温海岸带划分为杭州湾南岸—北

仑港、象山港、三门港、椒江口—台州湾、乐青湾、甬江口—温州湾 6 个海岸带区域,岸线总长度 2 600.4 km。研究区经济活动强度大、土地利用集约度高、景观格局变化较复杂^[7],对甬台温海岸带进行研究有利于海洋开发利用保护。

1.2 数据来源

本研究的数据来自地理国情监测云平台(<http://www.dsac.cn/>),基础数据为 1995,2005,2015 年浙江省 3 个时期 Landsat TM/OLI 遥感数据,空间分辨率为 30 m,每期轨道号包括 118-39,119-39,119-40,120-39 及 120-40,利用 ENVI 5.0 软件结合宁波、台州、温州市行政边界进行解译、校正、配准等,获得研究区各个时期内相关数据。由于研究对象和目的的差异性,结合甬台温海岸带实际情况,基于研究区自然环境和人类活动的影响将研究区土地景观类型划分为耕地、林地、草地、建设用地、水域、养殖用地、滩涂、未利用地这 8 种景观类型^[18-19]。

2 研究方法

2.1 景观指数选取

景观指数能够高度概括景观格局的信息,反应其机构组成和空间配置某方面特征的定量指标^[20]。在景观类型水平分析上选取斑块面积(CA)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、斑块形状指数(LSI)、边界密度(ED)和面积加权平均分维数(FRAC_AM) 7 个指标;在景观水平分析上选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、蔓延度(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)和聚集度(AI) 7 个指标。各指数中计算方法、参数意义及详细说明可参阅相关文献及 Fragstats 用户指南^[20]。

2.2 景观类型脆弱度评价指标

(1) 生态压力度评价指标。

$$FRAC = \frac{1}{2 \ln(P/4) \ln A} \quad (1)$$

$$DI_i = \sum_{j=1}^3 A_{ij} W_j / A_i \quad (2)$$

式中:FRAC 为分维度倒数,用来反映景观形状的复杂程度和景观空间稳定程度,其值越大表示受干扰程度越强;DI_i 为扰动指数,衡量人类活动对生态系统的影响,影响程度与距离存在递减关系。P 为斑块周

长(km); A 为斑块面积(km²); A_{ij} 为景观 i 在第 j 个缓冲区的面积(km²); W_j 为第 j 个缓冲区权重; A_i 为景观 i 的总面积(km²)。下同。

(2) 生态敏感度评价指标。景观分离度(F_i)表征同一景观类型中斑块的分离程度,反映人类活动强度对景观结构的影响。分离度越高则景观类型越分散,稳定性越差,敏感度越高。景观破碎度(C_i)是用来度量斑块变化的过程,值越高抗外界干扰能力越差,生态敏感度越高。公式如下:

$$F_i = \frac{D_i}{S_i}, \quad D_i = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{n}{A}}, \quad S_i = \frac{A_i}{A} \quad (3)$$

$$C_i = \frac{N_i}{N} \quad (4)$$

式中: D_i 为斑块分离度; S_i 为景观类型的面积指数; N_i 为景观 i 的斑块数。下同。

(3) 生态恢复力评价指标。最大斑块指数(LPI)用来衡量景观优势度,值越大表示该类型景观抗外界干扰能力越强。斑块内聚力指数(COHESION)用来衡量景观连通性,在渗透阈值下,斑块内聚力对该类斑块聚集程度敏感性成正比,超过渗透阈值后斑块内聚力对斑块空间分布状况不再敏感,指数越大则生态系统越稳定,恢复力越强。公式如下:

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100\% \quad (5)$$

$$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \times \left(1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right)^{-1} \times 100\% \quad (6)$$

式中: P_{ij} 为斑块 ij 的周长(km); a_{ij} 为斑块面积(km²)。

2.3 生态环境脆弱度综合指数

生态脆弱性是压力度、敏感度、恢复力的函数,其值与敏感性和压力度成正比,与恢复力成反比,评价公式如下:

$$CVI = P \times S / R \quad (7)$$

$$RVI = \sum \frac{A_i}{A} CVI \quad (8)$$

式中:CVI 为景观类型的生态脆弱度指数; P 为生态压力度; S 为生态敏感度; R 为生态恢复力; RVI 为区域生态环境脆弱度指数; A_i 为各生态系统类型面积(km²)。

为更为直观识别各期景观生态风险变化,结合研究区实况,运用 ArcGIS 基于几何间隔法对生态脆弱度进行分级,划分为 5 级脆弱区:一级脆弱区(EVI<

0.017 8),二级脆弱区(0.017 8 EVI<0.032 9),三级脆弱区(0.032 9 EVI<0.079 3),四级脆弱区(0.079 3 EVI<0.222 0),五级脆弱区(0.222 0 EVI)。

3 结果与分析

3.1 景观格局变化分析

结合 Fragstats 软件对研究区栅格图像进行处理,整理数据得到甬台温海岸带 1995—2015 年相关景观格局指标数据(表 1—2),并通过 ArcGIS 软件将土地利用数据与研究区行政矢量数据叠加得到研究区 1995—2015 年三期土地利用景观类型图(见封 3 附图 19)。

如封 3 附图 19 及表 1—2 所示,在研究期内,甬台温海岸带以耕地、林地为主要景观。但耕地斑块面积不断变少,与初期相比减少了 374.08 km²,下降 13.38%。林地虽整体占景观类型比最大,但也呈减少趋势,减少了 245.89 km²,下降 7.53%。建设用地增加了 731.59 km²,2005—2015 年间增加明显,与研究初期相比增加了 175.20%。其中杭州湾南岸—北仑港海岸带自 1995 年到 2015 年围垦变多,耕地被大量占用,演变为建设用地等,景观类型变化最为明显。滩涂用地面积也呈逐年递减状态,20 a 间其所占面积比重由 5.62% 下降到 1.98%,总面积减少 279.72 km²。其余用地变化较小。

景观类型上,甬台温海岸带的耕地、林地、滩涂、未利用地的斑块面积(CA)逐年减少,而耕地和林地的斑块数量(NP)在逐渐增加,说明耕地和林地的景观类型日趋破碎化;从斑块密度(PD)来看,耕地的斑块密度从 0.105 4 增加到 0.137 0,水域斑块密度由 0.049 3 增加到 0.063 3,说明其受到人类活动影响强烈,导致斑块密度不断增加;1995 年最大斑块指数(LPI)最高的是耕地(指数值 7.227 2),其次为林地指数值(6.109 6),2005 年最大斑块指数仍为林地最多(指数值 6.343 1),2015 年最大斑块指数依旧最大为林地,其次为耕地;从边界密度(ED)来看,研究区耕地、草地、建设用地、水域景观类型的边界密度逐年增加,其中林地和养殖用地的边界密度先增后减但整体减少。由于建设用地的扩张占用了耕地,使其原先整片的耕地景观类型破碎化;耕地、林地、建设用地、水域的斑块形状指数(LSI)逐年增加,说明这 4 类景观类型的复杂程度在逐渐增加;从面积加权平均分维数(FRAC_AM)来看,建设用地、耕地、滩涂的变化最大,其受人类干扰程度大。

表 1 1995—2015 年甬台温海岸带景观类型格局指数

景观类型	年份	CA	NP	PD	LPI	ED	LSI	FRAC_AM
耕地	1995	279 668.25	813	0.105 4	7.227 2	18.061 6	70.187 1	1.240 6
	2005	256 494.00	946	0.122 9	3.724 5	18.882 9	76.147 6	1.233 0
	2015	244 402.25	1 117	0.137 0	3.904 3	17.918 6	76.925 7	1.230 0
林地	1995	327 188.25	1 189	0.154 2	6.109 6	16.202 3	64.946 3	1.201 3
	2005	310 049.75	1 228	0.159 5	6.343 1	16.231 4	66.238 8	1.205 2
	2015	301 641.75	1 253	0.153 7	5.975 6	15.331 8	66.407 4	1.204 4
草地	1995	29 925.50	975	0.126 4	0.161 9	3.370 8	51.823 7	1.127 8
	2005	32 053.50	1 041	0.135 2	0.572 3	3.606 2	51.817 3	1.138 6
	2015	39 849.50	1 096	0.134 4	0.528 9	3.724 8	50.005 0	1.127 4
建设用地	1995	41 723.25	1 911	0.247 8	0.119 4	5.665 3	55.091 7	1.096 3
	2005	74 468.75	1 857	0.241 2	0.666 2	7.923 2	58.242 7	1.135 8
	2015	132 060.00	2 158	0.264 7	1.338 9	9.583 5	58.388 6	1.138 7
水域	1995	19 536.25	380	0.049 3	0.648 3	1.487 1	23.689 3	1.128 2
	2005	35 672.75	478	0.062 1	0.681 2	2.605 7	30.522 5	1.125 2
	2015	39 322.50	516	0.063 3	0.597 3	2.709 4	30.923 2	1.111 7
养殖用地	1995	16 813.50	476	0.061 7	0.255 9	2.308 4	35.724 5	1.126 5
	2005	17 847.00	513	0.066 6	0.151 7	2.532 3	37.704 7	1.120 6
	2015	17 256.75	495	0.060 7	0.313 8	2.003 6	32.876 4	1.109 3
滩涂	1995	43 313.50	253	0.032 8	1.407 1	1.410 5	24.991 6	1.140 4
	2005	30 740.00	298	0.038 7	0.324 7	1.478 9	28.955 8	1.128 5
	2015	28 699.25	259	0.031 8	0.415 0	1.183 5	23.905 6	1.114 8
未利用地	1995	13 080.50	528	0.068 5	0.076 0	2.201 3	39.875 5	1.122 8
	2005	12 519.25	516	0.067 0	0.075 8	2.151 9	39.747 8	1.123 6
	2015	11 993.50	485	0.059 5	0.071 8	1.925 8	38.152 6	1.121 8

注:CA 为斑块面积; NP 为斑块数量; PD 为斑块密度; LPI 为最大斑块指数; LSI 为斑块形状指数; ED 为边界密度; FRAC_AM 为面积加权平均分维数。下同。

表 2 1995—2015 年甬台温海岸带景观水平格局指数

年份	NP	PD	LPI	CONTAG	SHDI	SHEI	AI
1995 年	6 525	0.846 0	7.227 2	58.335 3	1.422 9	0.684 3	92.845 6
2005 年	6 877	0.893 3	6.343 1	55.393 0	1.516 0	0.729 0	92.267 1
2015 年	7 379	0.905 1	5.975 6	53.936 4	1.579 2	0.759 4	92.493 1

注:CONTAG 为蔓延度; SHDI 为香农多样性指数; SHEI 为香农均匀度指数; AI 为聚集度。

景观水平上,1995—2015 期间,研究区景观斑块数(NP)增加了 13.09%,斑块密度(PD)增加了 6.99%,表明甬台温海岸带景观整体趋于破碎。最大斑块指数(LPI)减少了 17.32%,整体优势度在降低,人类活动对研究区干扰和影响逐渐加剧;整体景观蔓延度(CONTAG)下降了 7.54%,说明研究区的优势斑块类型蔓延度降低,连通性变弱,聚集度逐渐下降进而导致破碎度增加;香农指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)呈上升趋势,分别增加了 0.156 3, 0.075 1;聚集度(AI)虽整体呈下降趋势,但也接近 100,说明研究区整体聚集度较好。综上所述,人类活动、经济发展、城镇扩张对甬台温海岸带产生了一定影响,对海岸带生态环境带来威胁影响其稳定性,使其逐渐复杂化、破碎化和分散化。

3.2 景观类型脆弱度演变分析

由景观脆弱度公式〔公式(1)—(7)〕计算得到研究区景观脆弱度(见表 3)。可见 1995 年甬台温海岸带景观类型脆弱度的高低依次为:草地>滩涂>耕地>建设用地>水域>林地>养殖用地>未利用地;2005 年依次为:耕地>建设用地>水域>林地>滩涂>养殖用地>未利用地>草地;2015 年依次为:耕地>养殖用地>建设用地>水域>林地>草地>未利用地>滩涂。研究期内甬台温海岸带的耕地景观类型脆弱度虽逐年递减但整体处于较高水平,特别是在 2005 年(指数值 0.088 1)和 2015 年(指数值 0.053 7)为最高。林地景观脆弱度先增后减,基本处于中间水平,说明人类活动对其影响较小。草地景观类型脆弱度在 1995 年最大值为 0.179 3,2005 年骤降为 0.005 4,

2015 年又上升到 0.007 7,说明草地景观的稳定性先增强后减弱。建设用地景观脆弱度逐年递减,敏感性较弱,与人类的经济活动、城镇扩张密切相关。水域景观类型脆弱度先升后降,最终值比初始值还低,说明其恢复力较好。养殖用地脆弱度虽是先减少后增加,但其在同年对比中是逐渐增加的,侧面反映研究

区内人类活动对养殖用地的影响程度愈发严重,敏感性增强,恢复力下降。滩涂作为海岸带独有景观,其脆弱度整体呈降低趋势,但人类活动对滩涂扰动指数始终较高,随着海岸带滩涂的有效保护和利用,其恢复力逐渐升高,脆弱性逐渐降低。未利用地景观脆弱度变化不大。

表 3 1995—2015 甬台温海岸带景观类型脆弱度指数

年份	耕地	林地	草地	建设用地	水域	养殖用地	滩涂	未利用地
1995	0.121 7	0.013 6	0.179 3	0.042 5	0.017 6	0.008 1	0.152 0	0.007 0
2005	0.088 1	0.013 7	0.005 4	0.028 1	0.020 3	0.007 8	0.011 2	0.006 9
2015	0.053 7	0.011 8	0.007 7	0.025 3	0.014 3	0.035 1	0.006 0	0.007 2

3.3 生态脆弱性时空演变分析

根据研究区景观格局指数等数据,由公式(9)计算得到甬台温海岸带各区(县)的生态脆弱度指数(见图 1),并依靠 ArcGIS 软件生成甬台温海岸带生态脆弱度分布(见封 3 附图 20)。生态环境脆弱度反映生态环境脆弱性,即区域环境越差,其环境系统稳定性越差,脆弱度越强^[21]。由图 1 可知,余姚市始终是生态脆弱度最高区域;宁波北仑区、宁海县海岸带,台州玉环市海岸带,温州洞头区、苍南县海岸带生态脆弱性先低后升高;整个研究区中唯有宁波鄞州区海岸带生态脆弱性逐年持续升高,鄞州区作为宁波市经济活动中心,其海岸带的开发建设对土地景观影响较大,

在城市化建设发展中受人类活动影响较强烈,使其区域生态敏感性增强、恢复力降低、不稳定性增强;宁波市镇海区、慈溪市、余姚市、象山县海岸带,台州椒江区、温岭市、三门县海岸带,温州龙湾区、瑞安市、乐清市、平阳县海岸带生态脆弱性持续走低;宁波市奉化区海岸带,台州路桥区、临海市海岸带生态脆弱性皆为先高后低,1995—2005 年人类对海岸带的开发尚处于探索性阶段,开发较少,使得海岸带土地利用景观有所变化,但其敏感性较强,区域稳定性偏弱,生态脆弱性不断增强。2005—2015,随着城镇化不断加快,海岸带土地利用景观趋于稳定,景观脆弱性较强的景观类型增多,生态脆弱性随之降低。

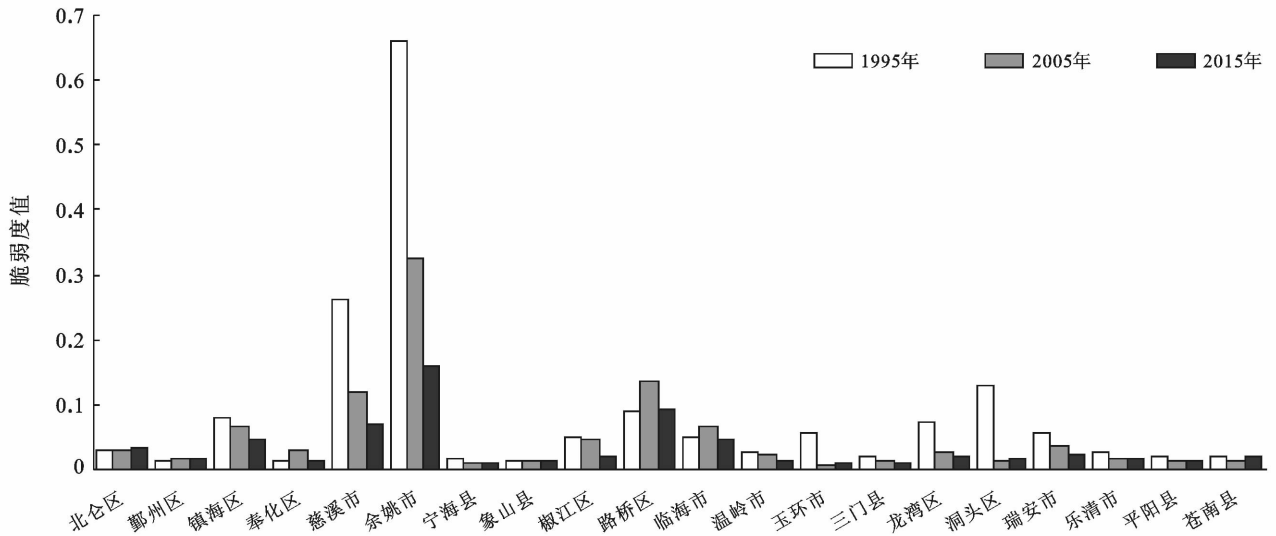


图 1 1995—2015 年甬台温海岸带各区(县)生态脆弱度指数

研究区的生态脆弱性程度变化反映了人类活动对该地区的影响及干扰程度,人类活动是致使景观破碎化的重要影响因素^[22]。从生态脆弱区面积变化(见图 2)和生态脆弱度分布(见封 3 附图 20)可知,1995 年研究区的脆弱等级分异显著,以二级和三级脆弱区为主,其中高生态脆弱区域的四级和五级脆弱区面积为

1 194.41 km²,比例为 15.52%,脆弱度较低的一、二等级脆弱区面积比例为 66.32%,说明整体甬台温海岸带生态环境较为良好;2005 年甬台温海岸带生态脆弱等级主要集中在二级脆弱区,一、二等级脆弱区比例为 78.78%。高等级脆弱区仍分布于杭州湾南岸地区,但相比于 1995 年已有部分等级降低,研究区南部

大部分转为二级脆弱区,生态环境好转;2015年研究区脆弱等级较为分散,南部湾区脆弱性整体增强,大部分转为三级脆弱区,高生态脆弱区面积比例上升到了 24.25%,一、二等级比例则下降到 53.32%。

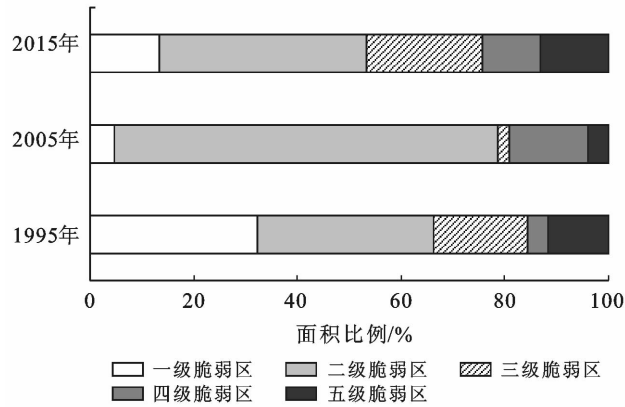


图 2 1995—2015 年甬台温海岸带生态脆弱区面积变化

3.4 景观格局与生态脆弱度指数相关分析

为深入了解景观格局与生态环境脆弱性的内在联系。基于 SPSS 软件计算皮尔逊相关系数,分析脆弱度模型中各景观格局指数之间,以及与各脆弱综合指数之间相关性(见表 4—6)。综合 3 期的相关性分析结果可以看出,区域生态脆弱度与扰动指数、破碎度呈显著正相关关系,和景观脆弱性完全相关;分维度倒数和优势度、连通性均存在显著正相关关系;扰动指数与分离度呈显著正相关关系;优势度和连通度呈显著正相关关系;破碎度和优势度、连通性呈显著负相关关系;其余指标间相关性关系较弱。由分析结果可看出,景观类型脆弱度与区域生态脆弱度完全相关,分维度倒数与破碎度关联度较大。分维度倒数指数表示人类活动对景观类型的干扰程度,近年来人类活动对甬台温海岸带的干扰愈发强烈,在一定程度上导致区域景观破碎化愈发严重。

表 4 1995 年生态脆弱性指数与景观特征指数相关性分析

类别	分维度倒数	扰动指数	分离度	破碎度	优势度	连通性	景观类型脆弱度	区域生态脆弱度
分维度倒数	1	-0.238	-0.102	-0.917**	0.738*	0.957**	0.245	0.244
扰动指数		1	0.712*	0.439	-0.010	-0.311	-0.315	0.712*
分离度			1	0.428	-0.020	-0.280	-0.102	-0.099
破碎度				1	-0.783*	-0.979**	-0.258	0.856*
优势度					1	0.811*	0.095	0.094
连通性						1	0.218	0.217
景观类型脆弱度							1	1.000**

表 5 2005 年生态脆弱性指数与景观特征指数相关性分析

类别	分维度倒数	扰动指数	分离度	破碎度	优势度	连通性	景观类型脆弱度	区域生态脆弱度
分维度倒数	1	-0.033	0.198	-0.968**	0.696	0.966**	0.455	0.460
扰动指数		1	0.675	0.079	0.110	0.061	0.521	0.722*
分离度			1	-0.008	0.165	0.300	0.162	0.164
破碎度				1	-0.722*	-0.935**	-0.528	0.833*
优势度					1	0.770*	0.672	0.668
连通性						1	0.582	0.585
景观类型脆弱度							1	1.000**

表 6 2015 年生态脆弱性指数与景观特征指数相关性分析

类别	分维度倒数	扰动指数	分离度	破碎度	优势度	连通性	景观类型脆弱度	区域生态脆弱度
分维度倒数	1	0.252	0.460	-0.844**	0.815*	0.897**	0.306	0.322
扰动指数		1	0.658	-0.061	0.083	0.161	0.695	0.716*
分离度			1	-0.207	0.256	0.405	0.168	0.201
破碎度				1	-0.685	-0.965**	-0.277	0.883*
优势度					1	0.743*	0.293	0.300
连通性						1	0.320	0.332
景观类型脆弱度							1	0.999**

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

4 结论

(1) 景观格局空间分析表明,随着研究区的开发利用以及人口、社会经济的高速发展,导致人类活动对甬台温海岸带景观干扰强烈,其中对耕地、林地、建设用地、滩涂影响较大。20 a 间耕地面积减少最多,为 374.08 km²;其次为滩涂和林地,面积分别减少了 279.73,245.89 km²;养殖用地和未利用地面积变化不大,分别减少了 23.55,12.55 km²;建设用地面积增加最多,为 731.59 km²;其次为水域面积,增加了 160.34 km²;草地面积增加了 43.87 km²。在景观类型上,耕地、林地虽然面积减少但斑块数量增多,两种景观呈破碎化趋势。景观水平上,研究区景观斑块数和密度均增加,整体蔓延度降低、优势度在下降,研究区呈现出复杂、破碎、分散的趋势。

(2) 景观脆弱度及区域生态脆弱度研究结果表明,研究期内人类活动对耕地影响最大,其景观脆弱度最高;建设用地、林地景观、养殖用地脆弱度也上升,受到干扰较强烈。宁波鄞州区海岸带生态脆弱性逐年升高,其海岸带的开发建设对土地景观影响较大,城市建设发展和人类活动对其影响较强烈;杭州湾南岸始终是高脆弱区聚集区域。甬台温海岸带整体成脆弱性在 20 a 间变化明显,1995 年一级脆弱区 4 个,四级、五级脆弱区共 5 个,大部分地区处于中级水平,分布较均衡;2005 年一级脆弱区仅有玉环市,五极脆弱区包含余姚市和路桥区,其余大部分处在二级脆弱区,生态脆弱性有所降低;2015 年余姚市、慈溪市、路桥区为最高生态脆弱区,二级脆弱区逐渐向三级转移,研究区生态脆弱性不断升高,表明海岸带的开发在不断增强。

(3) 相关性分析得出,区域生态脆弱度与扰动指数、破碎度呈显著正相关,和景观脆弱度指数完全相关(相关指数接近于 1);分维度倒数和优势度、连通性存在正相关关系;扰动指数与分离度显著正相关;优势度与连通性呈显著正相关关系;破碎度与优势度、连通性呈显著负相关关系;其余指标间相关性较弱。

[参 考 文 献]

[1] 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.

[2] 张慧霞,庄大昌,娄全胜.基于土地利用变化的东莞市海岸带生态风险研究[J].经济地理,2010,30(3):489-493.

[3] Connell S D, Russell B D, Turner D J, et al. Recovering a lost baseline: Missing kelp forests from a metropolitan coast [J]. Marine Ecology Progress Series, 2008,360:63-72.

[4] Li Jialin, Pu Ruiliang, Gong Hongbo, et al. Evolution

characteristics of landscape ecological risk patterns in coastal zones in Zhejiang Province, China [J]. Sustainability, 2017,9(4):584.

- [5] 李伟芳,陈阳,马仁锋,等.发展潜力视角的海岸带土地利用模式:以杭州湾南岸为例[J].地理研究,2016,35(6):1061-1073.
- [6] 田鹏,李加林,姜亿涓,等.海湾景观生态脆弱性及其对人类活动的响应:以东海区为例[J].生态学报,2019,39(4):1463-1474.
- [7] 田鹏,龚虹波,叶梦姚,等.东海区大陆海岸带景观格局变化及生态风险评价[J].海洋通报,2018,37(6):695-706.
- [8] 赵跃龙,张玲娟.脆弱生态环境定量评价方法的研究[J].地理科学,1998,18(1):67-72.
- [9] 冉圣宏,金建君,薛纪渝.脆弱生态区评价的理论与方法[J].自然资源学报,2002,17(1):117-122.
- [10] 姚雄,余坤勇,刘健,等.南方水土流失严重区的生态脆弱性时空演变[J].应用生态学报,2016,27(3):735-745.
- [11] 卢远,苏文静,华瑾.基于景观格局和生态敏感性的左江流域生态脆弱性分析[J].水土保持研究,2011,18(3):78-82,87.
- [12] 孙才志,闫晓露,钟敬秋.下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J].生态学报,2014,34(2):247-257.
- [13] 任志远,张晗.银川盆地土地利用变化对景观格局脆弱性的影响[J].应用生态学报,2016,27(1):243-249.
- [14] 梁佳欣,李新举.南四湖湿地景观格局脆弱度的时空分异特征[J].应用生态学报,2018,29(2):626-634.
- [15] 潘竟虎,苏有才,黄永生,等.近 30 年玉门市土地利用与景观格局变化及其驱动力[J].地理研究,2012,31(9):1631-1639.
- [16] 张明.榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究[J].地理研究,2000,19(1):30-36.
- [17] 彭建,王仰麟,张源,等.滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应:以云南省永胜县为例[J].地理学报,2004,59(4):629-638.
- [18] 叶梦姚,李加林,史小丽,等.1990-2015 年浙江省大陆岸线变迁与开发利用空间格局变化[J].地理研究,2017,36(6):1159-1170.
- [19] 刘永超,李加林,袁麒翔,等.人类活动对港湾岸线及景观变迁影响的比较研究:以中国象山港与美国坦帕湾为例[J].地理学报,2016,71(1):86-103.
- [20] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级 [M]. 2 版.北京:高等教育出版社,2007.
- [21] 王经民,汪有科.黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨[J].水土保持通报,1996,16(3):32-36.
- [22] 王云才.基于景观破碎度分析的传统地域文化景观保护模式:以浙江诸暨市直埠镇为例[J].地理研究,2011,30(1):10-22.
- [23] 曹祺文,张曦文,马洪坤,等.景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架:ESRISK[J].地理学报,2018,73(5):843-855.