

DOI: 10.5846/stxb201811142460

巫丽芸, 何东进, 游巍斌, 纪志荣, 黄昕宇. 东山岛海岸带景观破碎化时空梯度分析. 生态学报, 2020, 40(3): 1055-1064.

Wu L Y, He D J, You W B, Ji Z R, Huang X Y. A gradient analysis of coastal landscape fragmentation change in Dongshan island, China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(3): 1055-1064.

东山岛海岸带景观破碎化时空梯度分析

巫丽芸, 何东进*, 游巍斌, 纪志荣, 黄昕宇

福建农林大学林学院, 福州 350002

摘要: 运用景观格局指数、缓冲带分析和移动窗口法相结合的方法, 分析了福建东山岛 18 年来从沿海到内陆和海岸地带的景观破碎化梯度变化特征。结果显示: 东山岛各缓冲带的景观破碎化程度总体随时间在不断增强, 但不同区域有所差异; 近海岸地带、西北部及南部的有林地带的破碎化程度持续降低, 而中北部和南部城镇农田集中区人为干扰日益强烈, 破碎化程度不断增加; 采用半变异函数和移动窗口法相结合的方法, 确定东山岛景观破碎化分析的特征尺度为 1000m; 在此尺度下, 发现景观破碎化指数的变化率随时间存在明显的空间差异, 而运用设置样线并提取样点的景观破碎化指数的方法, 则发现距离海岸线 500m 和 1000m 处的地带破碎化程度不断加剧, 是东山岛沿海人为干扰的强烈地带; 东山岛人工干扰随时间趋向分散, 破碎化指数曲线波动趋向显著; 城镇化、旅游和农业发展应该是东山岛景观破碎化的主导驱动因子; 采用 Pearson 相关系数分析景观破碎化与景观格局其他方面特征的相关性, 发现它们具有较强相关性, 说明运用景观破碎化指数能够反映东山岛景观格局变化的基本特征。

关键词: 缓冲带; 移动窗口法; 景观破碎化; 特征尺度; 东山岛

A gradient analysis of coastal landscape fragmentation change in Dongshan island, China

WU Liyun, HE Dongjin*, YOU Weibin, JI Zhirong, HUANG Xinyu

Forestry College, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract: The paper presents the temporal and spatial differences of island landscape gradient change and coastal landscape fragmentation in Dongshan island. Large patch index (LPI) and patch density (PD) were chosen as landscape fragmentation index. Based on remote sensing images of 1994, 2003, and 2011, Dongshan island was divided into 7 landscape types. First, in the landscape classification maps, 26 buffer zones, each being 500m wide, were divided from the coast to inland, then, the landscape spatial patterns of each buffer zone were analyzed with FRAGSTATS. Second, the characteristic scale of landscape fragmentation was determined by using the semi-variable function and the moving window method. Third, according to the determined characteristic scale, moving window method in FRAGSTATS was carried out to analyze the spatial distribution of LPI and PD. Finally, four sample lines, which extend 200m, 500m, 1000m from coastline and across the center of the town were set, and the sampling points for every 200 m were selected on the sample lines, using the sample command of ArcGIS, then, the LPI and PD value of each sampling point were extracted. The results showed that the landscape fragmentation of the buffer zones increased with time generally. The landscape fragmentation continued to decrease in the coastal zones, the northwest and the south zones with forest, while in the town and farmland zones of the island, the fragmentation were increasing. The characteristic scale for analyzing landscape fragmentation of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.31200365); 福建农林大学林学高峰学科建设项目; 福建农林大学科技创新专项基金 (KFA17280A)

收稿日期: 2018-11-14; **网络出版日期:** 2019-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjhdj1009@126.com

Dongshan island was 1000m. On this scale, it was found that the change rate of landscape fragmentation indicators had obvious spatial difference. Then, landscape fragmentation characteristics of the extracted sample points showed the coastal zone of 500m and 1000m from coastline were disturbed strongly by human, and the fragmentations were growing. The artificial disturbance, which tended to be scattered, created fluctuation significantly of fragmentation index curve with time. Urbanization, tourism, and agriculture development should be the main driving factors of landscape fragmentation. Using Pearson correlation coefficient, we analyzed the correlation of landscape fragmentation and other landscape pattern, which were found to have strong correlation. It indicated that chosen landscape fragmentation index can reflect the basic characteristics of landscape pattern change of the study area.

Key Words: buffer zone; moving window method; landscape fragmentation; characteristic scale; Dongshan Island

在全球许多地区,人类活动是目前促成景观改变的主要力量^[1]。通过改变土地利用方式,人类活动强烈地影响着景观生态系统的功能、过程及相互作用,并干扰了作为生命支持系统的生态环境的功能发挥^[2]。因此,人类活动所带来的景观改变获得了较多的关注,尤其大城市的城市化景观变化问题^[3]。然而,一些生态关键区的景观变化则较少人关注。海陆相互作用的海岸带既是社会经济的“黄金地带”,又是区域生态安全防护的关键。前人对海岸带景观变化的研究多是从区域整体的角度对海岸带城市或海岸区域内的生态栖息地的景观结构进行探讨,而从较小尺度出发,对于海岸带的内部结构和功能以及人类活动干扰海岸带的空间差异的分析研究则相对较少。对海岸带景观变化的更为微观的分析,有助于更为清晰地勾勒出主导驱动因子,为海岸带的综合管理提供更具靶向性的依据。

景观破碎化表现为景观要素在外力作用下原来连续景观逐步变为许多彼此隔离的不连续的斑块镶嵌体的过程^[4]。景观破碎化的加剧很大程度上支离自然生境^[5],直接影响着景观中能量流动、物质循环等生态特征与过程^[6],可能给区域生物多样性带来毁灭性和不可逆的后果^[7]。因此,随着在生物多样性保护^[8]、生态系统管理^[9]、景观生态规划^[10]、城市化影响^[11]等方面的应用不断增多,景观破碎化现象受到了越来越多的关注。然而海岸带中观尺度的景观破碎化梯度时空差异的研究则较少。因此,本研究试图通过缓冲带分割、移动窗口、样点分析等方法对福建省东山岛海岸带的景观破碎化展开研究,聚焦于东山岛景观梯度变化及海岸地带景观破碎的时空差异,旨在解决:(1)从海岸往岛内陆,其景观破碎化是否存在梯度变化特征?(2)景观破碎化在不同海湾、在与海岸线不同距离是否存在梯度变化?(3)景观破碎化过程的主导驱动因子有哪些?

1 研究区概况

东山地理坐标为北纬 23°33′—23°47′,东经 117°17′—117°35′,位于福建省南部沿海、东海与南海交汇处,东临台湾海峡与台湾岛隔海相望,是大陆距台湾南部最近的县份,为全国第六、福建省第二大海岛。东山岛全境属丘陵地带,地势从东北向西南倾斜,海拔高度较小;气候属亚热带海洋性季风气候,温暖舒适,光照充足;东山国民经济快速发展,经济实力不断增强。

2 研究方法

为了研究东山岛海岸带景观破碎化的动态变化,本文以 1994 年 TM 遥感影像(分辨率 30m)、2003 年和 2011 年 SPOT 遥感影像(分辨率 5m)作为基础数据,并收集了东山县行政区划图、东山 2010 年土地利用/覆盖图、1:50000 地形图等图件资料及统计资料、实地调研材料等(数据来源:福建省地质测绘院)。运用 ERDAS Imagine 进行遥感影像预处理,并空间匹配统一的投影坐标系统。由于图像具有不同的空间分辨率(TM:30m 和 SPOT:5m),首先对 TM 进行了重采样,让其栅格大小与 SPOT 栅格一致,这样可以在一定程度上减小在景观分析时存在的误差,以便后期定量地比较景观变化^[12-14],再通过监督分类与人机交互相结合方法分别提取 3 期影像的景观类型,将研究区景观类型划分为水域、林地、草地、耕地、建设用地、道路、其他用地(包括未利

用地、低覆盖地等)等 7 类,并对分类精度进行评价,得出 Kappa 系数分别为:1994 年 0.81、2003 年 0.87、2011 年 0.86,获得的 3 期景观类型图均转为 15m×15m 栅格形式(图 1)。

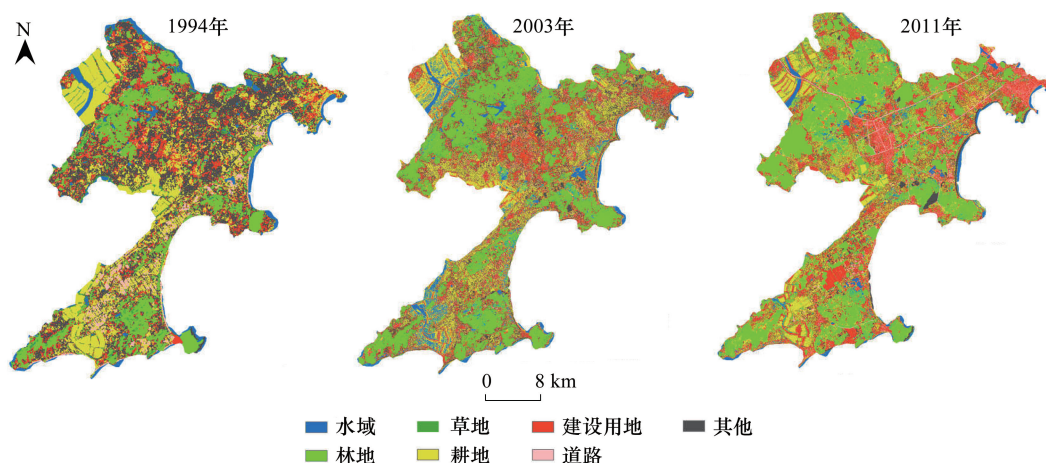


图 1 东山岛不同时期景观类型及其分布

Fig.1 Landscape types and distribution of Dongshan island in different period

本研究中选择斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)作为监测研究区景观破碎化的中心指数。同时,选择景观形状指数(LSI)周长面积分维数(PAFRAC)、香农多样性指数(SHDI)、蔓延度指数(CONTAG)、香农均匀度指数(SHEI)作为辅助指数更完善地反映景观变化^[8-11,15-17]。采用 Fragstats3.3 对东山岛 3 个时期景观进行指数计算,计算方法和指数公式均同 Fragstats 的表达方式。

在 ArcGIS 软件的支持下,在 1994 年、2003 年和 2011 年 3 期景观类型图上分别以海岸线为界线,向岛内陆以 500m 为间隔做缓冲带,整个岛屿范围内共划分出 26 个缓冲带(图 2),然后运用 Fragstats3.3 分别计算 26 个缓冲带的景观指数,从而分析从海岸带往内的景观破碎梯度变化特征。

采用 Fragstats 的移动窗口法,整个研究区内从左上角开始移动,每次移动 1 个栅格,计算窗口内的景观指数值,并将该值赋给该窗口的中心栅格,最后形成景观指标栅格图^[18]。

移动窗口半径的确定是十分重要的,过大或过小都无法准确反映区域的景观特征。因此首先得确定东山岛景观指标计算的窗口半径。在移动窗口法的基础上,移动窗口半径分别设为 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000m,采用地统计学中的半变异函数方法来判定景观特征尺度。半变异函数详细计算过程见文献^[19-21]。半变异函数的基本参数,包括块金值 C_0 、偏基台值 C 、基台值 $C+C_0$ 、变程 A_0 、块基比 $C_0/(C+C_0)$ 。块基比可以估算随机因子在空间总变量中的重要性,进而反映变量在空间上的变异程度,其值大小代表空间变异程度的高低,值越小,说明空间自相关越明显,也就越稳定^[17,22-23]。本研究运用 ArcGIS10.2 模拟在不同移动窗口半径下景观破碎化的半变异函数,通过块基比的变化规律来分析景观指数的空间特征对尺度的响应。当块基比达到相对稳定时,表明景观指数在空间的变异趋于稳定,认定为这个尺度是合适表达研究区景观指数的窗口半径^[17,22-23]。在此窗口半径下,采用移动窗口法所获得的景观指数图则被采用来反映东山岛景观破碎化的空间分异。

本研究需要更微观更详细地反映沿海海岸的景观变化情况,考虑到距离海岸线 200m 是福建省沙质海岸沿海基干林的界线,也是许多沿海省规定的海岸退缩线界线^[24-25],而距离海岸线 500、1000m^[26-27]则是许多国家地区规划海岸综合管理区的范围,同时考虑到县城城市化可能对景观产生的影响,因此设置距离海岸线 200、500、1000m 及横切东山县城中心等 4 条样线,并每隔 200m 取样点(图 3),利用 ArcGIS 的 Sample 命令,提取每个样点的景观指数值,对海岸带及海岛城市化的影响进行梯度分析。

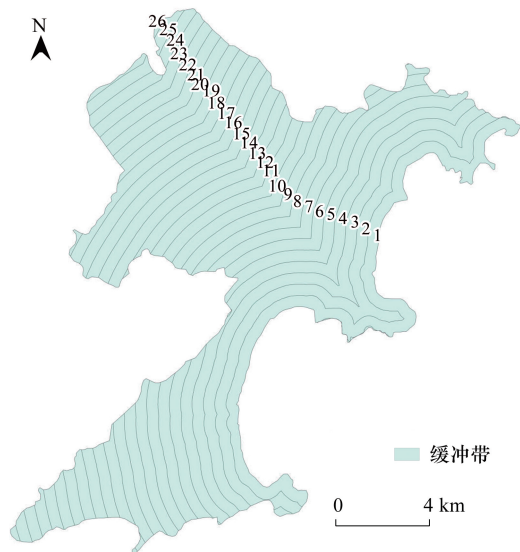


图2 东山岛缓冲带划分

Fig.2 The buffer zones of Dongshan Island

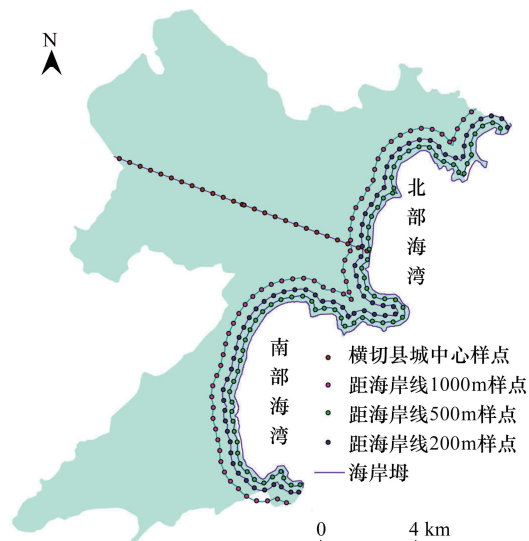


图3 东山岛样点分布

Fig.3 Sampling points distribution of Dongshan Island

3 结果与分析

3.1 景观破碎化的缓冲带格局分析

沿着 26 个缓冲带,各缓冲带景观破碎化在近 18 年内表现出相似的梯度变化特征(图 4)。最大斑块指数 (LPI)大致出现从沿海到内陆逐渐上升的趋势。在 1、2 缓冲带,即距海岸 1000m 范围内,2003 年和 2011 年

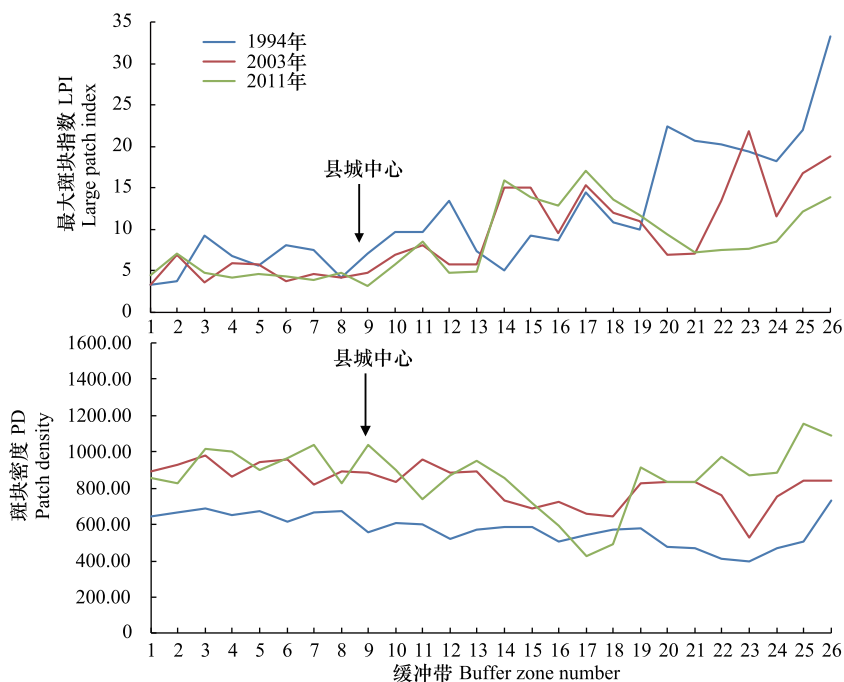


图4 景观破碎化的缓冲带梯度变化特征

Fig.4 Changes of landscape fragmentation along the buffer zones

LPI 均高于 1994 年; 在 3—13 缓冲带, 即城镇集中区域, 2003 年和 2011 年 LPI 均低于 1994 年, 尤其是 2011 年第 9 缓冲带, 即穿越东山县城中心区, LPI 指数为所有指数中的最低值; 在 14—19 缓冲带, 2003 年和 2011 年 LPI 又高于 1994 年; 而在 20—26 缓冲带, LPI 则 3 期均呈现一定的上升趋势, 但随着时间却表现为 2003 年比 1994 年明显降低, 2011 年又比 2003 年明显降低。

各缓冲带的斑块密度指数 (PD) 也呈现出一定的规律性。除个别缓冲带 (第 17、18) 外, 其余各带 2003 年和 2011 年的指数均大于 1994 年, 而 2011 年有 16 个缓冲带的指数值高于 2003 年; 1994 年和 2003 年的指数曲线较为平缓, 但 2011 年的指数却波动很大; 在 1、2 缓冲带, 2011 年 PD 低于 2003 年; 在 3—13 缓冲带, 2011 年 PD 波动强烈; 在 15—18 缓冲带, 2011 年 PD 低于 2003 年; 而在 18—26 缓冲带, 2011 年 PD 高于 2003 年。

从以上分析可以看出, 景观破碎化程度随时间在不断增强; 近海岸地带和西北部森林地带的破碎化程度有所缓和、下降, 而城镇集中区域和西北部近内陆地带则景观破碎化程度在加剧; 2011 年 PD 指数的波动特征与人类干扰的强度及土地价值的差异密不可分, 城镇区域破碎化程度加剧。

3.2 景观特征尺度

在多个连续尺度上对景观指数的空间变异特征进行探讨 (图 5), 从而判定特征尺度。结果表明: 景观破碎化指数的块基比随窗口半径的增加而降低, 说明随尺度的变大, 空间变异程度越低, 空间自相关性越明显, 也越稳定; 粒度 250、500、750m 时, 趋势图上块基比显著下降, 变化不稳定, 而在 1000m 左右时开始趋于稳定, 则认为这是反映研究区景观破碎化空间变异特征的内在尺度。因此, 东山岛景观破碎化的移动窗口半径选择 1000m。

3.3 景观破碎化特征的空间分析

研究区在 1000m 尺度下景观破碎化特征变化的时空分异如图 6、7 所示, 1994 年—2003 年, LPI 正变化率

高值区主要集中在西北部低山区、中东部沿海区及南部的部分地区, 这些地区大都为有林地区; LPI 负变化率高值区主要集中在西北角靠近大陆地带、中北部区及南部的部分地区, 这些地区大都为城镇和农田集中地带。2003 年—2011 年, LPI 正变化率高值区主要集中在西北部的南角、东北沿海区及南部的部分地区, 总体表现为零星分布; LPI 负变化率高值区主要集中在西北角靠近大陆地带、中北部区及南部的部分地区, 这些地区大都为城镇和农田集中地带。PD 变化率空间分布与 LPI 大致相反, LPI 正变化率高值区往往为 PD 的负变化率高值区, 而 LPI 负变化率高值区往往为 PD 的正变化率高值区, 两个指数的相关性较强。以上分析说明中北部和南部城镇农田集中区, 人为干扰日益强烈, 破碎化程度不断增加, 而西北部和南部的有林地则生态修复良好, 破碎化程度持续降低。

3.4 景观破碎化的样点分析

首先对距离海岸线 200、500、1000m 3 条样线上的样点的景观特征进行分析 (图 8—10)。200m 样线上的样点 LPI 指数三期曲线波动基本一致。500m 样线上的样点 LPI 指数曲线起伏明显, 尤其是东山岛的北部海湾所在的样点 5—28, 包括屿南湾、金銮湾、马銮湾等, 为东山岛主要的沙质海岸旅游景区, LPI 值明显下降, 且 2003 年和 2011 年的值低于 1994 年; 样点 29—37 为东山海岸苏峰山位置, 为基岩海岸, LPI 值明显升高, 且 2003 年和 2011 年的值高于 1994 年; 样点 38—72 为东山南部海湾, 即乌礁湾, 为沿海养殖、风力电厂等区域, LPI 值 3 个时期变化波动大。1000m 样线上的 LPI 指数曲线波动也很大, 北部海湾包括的样点 3—23, LPI 3 个时期变化波动均大, 且 2011 年的值趋向于降低; 样点 24—32 为东山海岸苏峰山位置, LPI 值明显升高; 样点 33—61 的南部海湾, LPI 曲线与 500m 样线比较总体趋向缓和。

200m 样线上的样点 PD 指数 3 期曲线波动基本一致, 但随时间 PD 值呈现升高趋势。500m 样线上的样

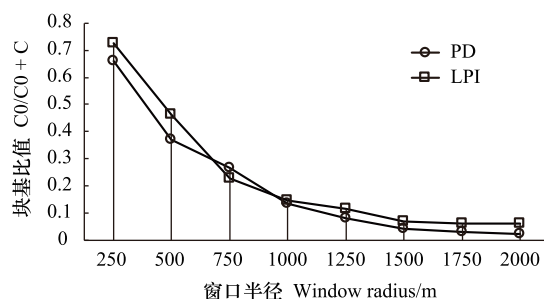


图 5 景观破碎化指数空间变异特征值趋势图

Fig.5 The trend of characteristic values of spatial fragmentation within different extents

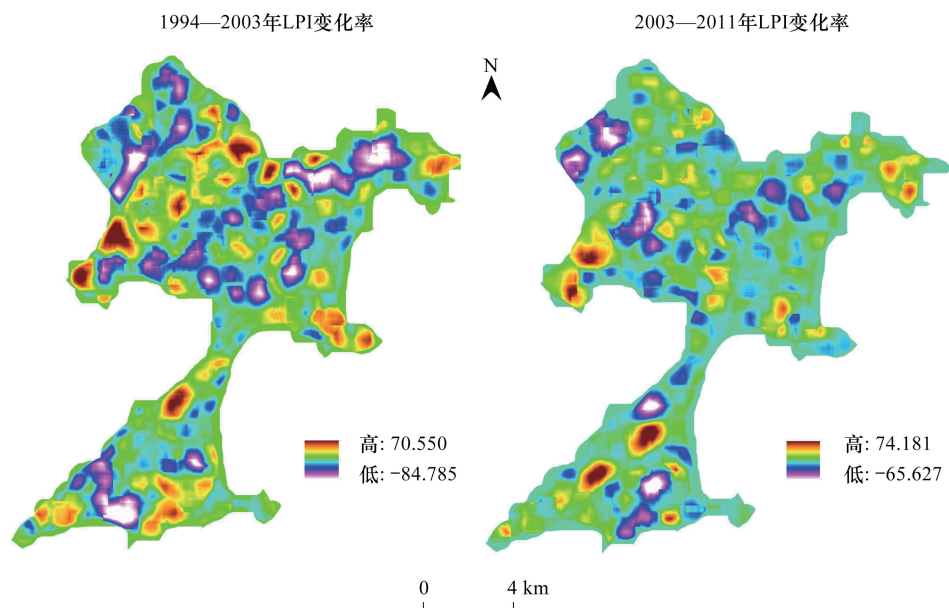


图 6 LPI 指数变化的空间分布
Fig.6 Spatial distribution of LPI change

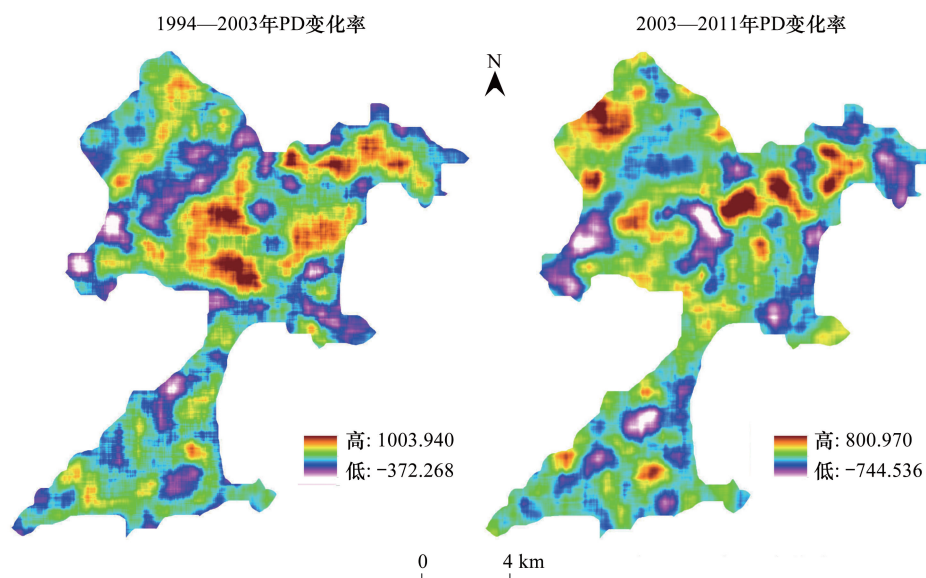


图 7 PD 指数变化的空间分布
Fig.7 Spatial distribution of PD change

点 PD 指数曲线起伏明显,样点 29—37 苏峰山位置,PD 值明显下降,北部湾和南部湾 PD 值大多较高,且随时间呈现升高趋势。1000m 样线上的样点 PD 指数曲线变化与 500m 样线相似。

以上分析可能看出,景观破碎化程度随时间在不断增强;距离海岸线 200m 处在 18 年内虽有波动,但变化不是很大,沿海防护林的建设和保护需要使这一地带破碎化程度不显著;距离海岸线 500m 和 1000m 处则变化剧烈,东山岛北部海湾的旅游发展、房地产开发,南部海湾的海产养殖、风力电厂、房地产开发等人为干扰强烈改变着海岸地带,使其破碎化程度不断加剧。对 3 条样线中的北部海湾样点和南部海湾样点进行 ANOVA 分析,发现破碎化在南北海湾差异不显著,说明主导人为干扰的差异对海岸带景观破碎化并不会造成明显的空间差异。

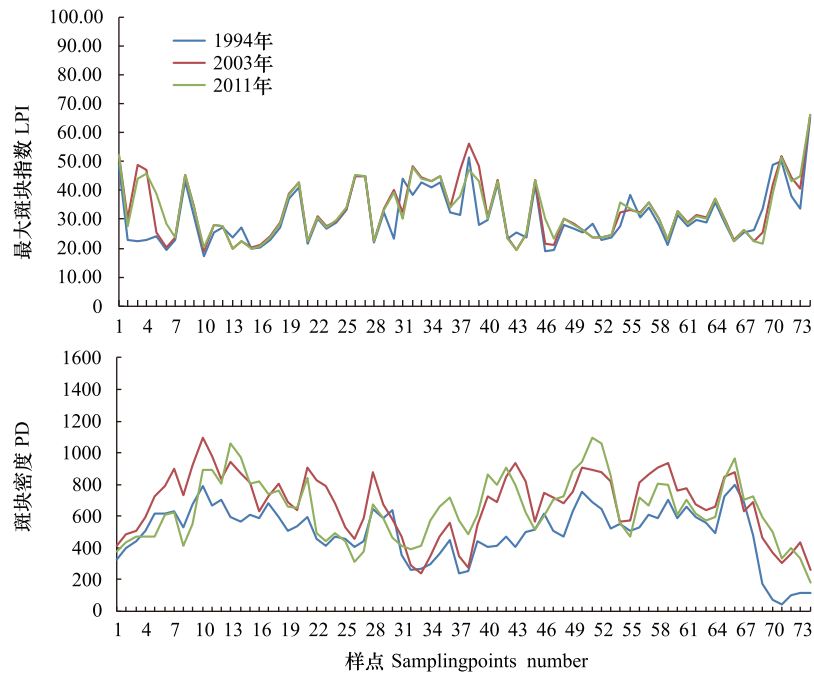


图8 景观破碎化沿距海岸 200m 样线的变化特征

Fig.8 Changes of landscape fragmentation along 200m transect from shore line

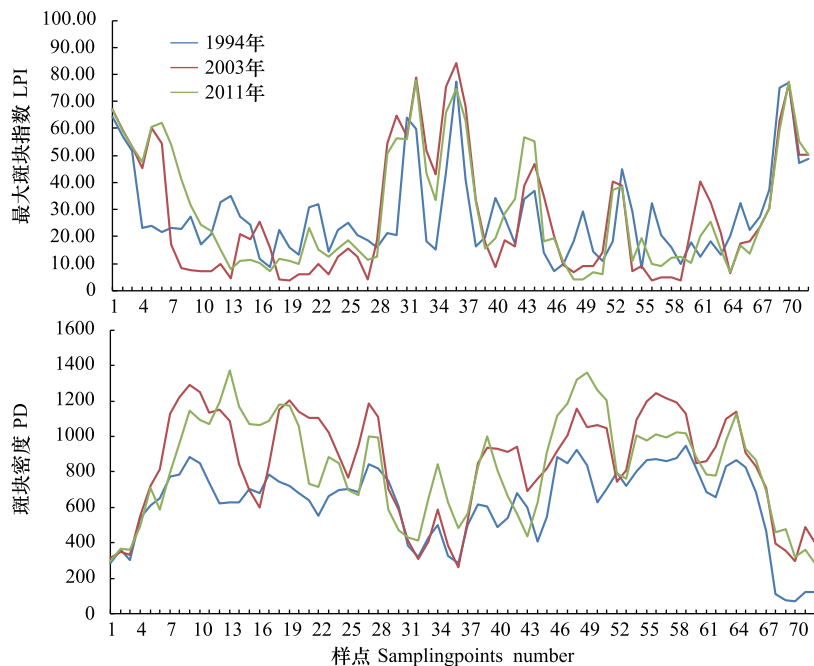


图9 景观破碎化沿距海岸 500m 样线的变化特征

Fig.9 Changes of landscape fragmentation along 500m transect from shore line

其次,对横切县城中心样线上的样点景观特征进行分析(图 11)。3 个时期的 LPI 指数未明显分异,均表现为曲线变化显著,波动明显,尤其在近海岸到县城中心骤升骤降,样点 3 呈现低点,样点 5 又骤升,样点 9 又降升,样点 12,即县城中心点,又呈现一个低值;PD 指数则呈现出随时间上升的趋势,1994 年曲线较平缓,主要的高值区在岛的内陆区,2003 年曲线波动,高值区主要集中在样点 10—17,主要为城镇集中区;2011 年曲

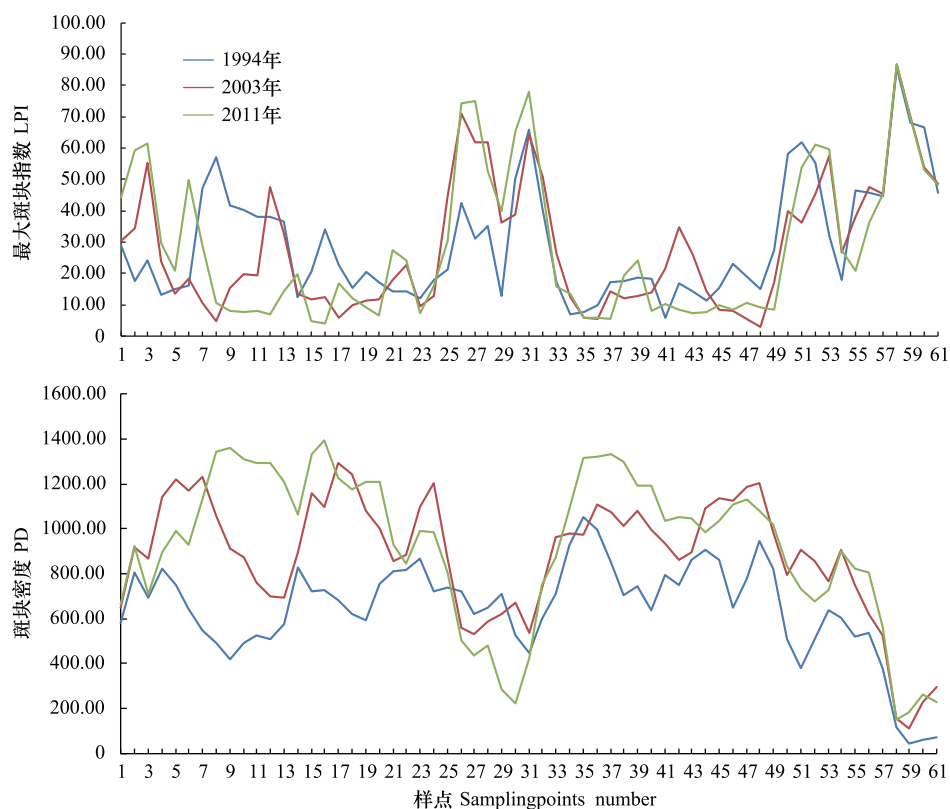


图 10 景观破碎化沿距海岸 1000m 样线的变化特征

Fig.10 Changes of landscape fragmentation along 1000m transect from shore line

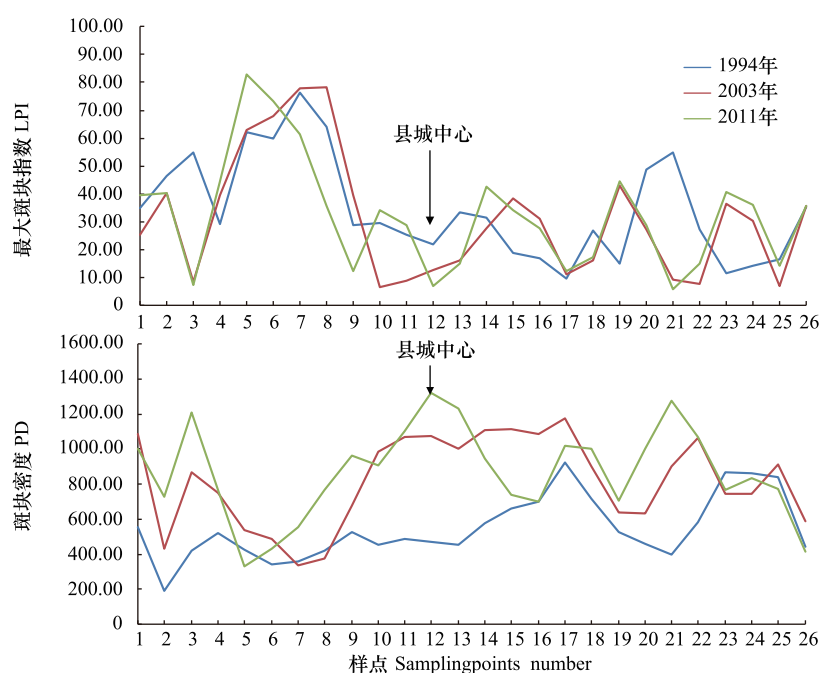


图 11 景观破碎化沿横切县城中心样线的变化特征

Fig.11 Changes of landscape fragmentation along the transect across the center of the town

线波动更为显著,高值区主要在样点 3、12、21。由此可看出,景观破碎化随时间在不断增强,1994 年破碎化程度相对低,但 2003 年和 2011 年人为干扰加剧了这一过程,2003 年人工干扰主要集中在县城地带,使得这一区域破碎化明显升高,2011 年人工干扰趋向分散,在近海岸、县城中心、岛内陆都出现破碎化加剧现象。

3.5 景观指数的相关分析

本研究采用 Pearson 相关系数分析景观破碎化与景观格局其他方面特征的相关性。结果表明:PD 与 LPI ($R = -0.368, P = 0.001$)、PD 与 LSI ($R = 0.754, P = 0.000$)、PD 与 PAFRAC ($R = 0.804, P = 0.000$)、PD 与 CONTAG ($R = -0.868, P = 0.000$)、PD 与 SHDI ($R = 0.293, P = 0.009$) 均在 0.01 水平上显著相关,PD 与 SHEI ($R = 0.279, P = 0.013$) 在 0.05 水平上显著相关。可见,景观破碎化与其他景观格局指数有较强的相关性,运用所选择的景观破碎化指数能够反映东山岛景观格局变化的基本特征。

4 结论与讨论

在景观生态学和景观规划中,运用景观指数分析景观格局变化的研究在近 20 年内大量出现,尤其是针对城市蔓延问题的研究。然而,较少研究聚焦于景观格局的区域内部差异。人类活动迅速改变着景观的结构和构成,所造成的景观镶嵌体的改变又被认为显著影响生态系统的过程和功能,然而,人类活动的强度是存在区域差异的。因此,量化区域内部的景观格局差异能为跟踪和评价人类活动对景观的影响提供更为精细的信息。

本研究基于 GIS 和景观指数,运用缓冲带分析和移动窗口法、样点分析等,定量测定福建东山岛景观破碎化特征的时空差异。东山在 1992—1995 年获得了“百亿新城”建设项目,整个强烈的人为干扰从这个时期开始,然而“百亿新城”项目在完成一期投资后停工,在这之后,1995—2004 年东山发展转向生态建设,先后申请“国家可持续发展试验区”、“福建省生态农业试点县”、“国家级生态示范县”等,2004 年到 2011 年间正是我国房地产开发逐渐狂热期,东山不可避免地成为了开发的热点,大型的玻璃厂、房地产企业、旅游开发、鲍鱼和对虾的大量养殖都影响着东山岛的景观结构变迁。正是由于不同时期的投资方向和政策方向的影响,使得东山岛景观破碎化程度随时间在不断增强,且由于土地经济属性和自然属性的不同,带来了人类开发的趋向性,从而使得东山岛的景观破碎化在区域内有显著差异。其表现为:近海岸地带、西北部及南部的有林地地带的破碎化程度持续降低,而中北部和南部城镇农田集中区人为干扰日益强烈,破碎化程度不断增加;距离海岸线 500m 和 1000m 处是东山岛沿海人为干扰的强烈地带,北部海湾的旅游发展、房地产开发,南部海湾的海产养殖、风力电厂、房地产开发等人为干扰强烈改变着这一地带,使其破碎化程度不断加剧。随着地价的上升和经济农业的发展,东山岛人工干扰随时间趋向分散,破碎化指数曲线波动趋向显著,城镇化、旅游和农业发展应该是东山岛景观破碎化的主导驱动因子。

当前,技术的支持使我们可以快速获得景观特征的各种指数。但是,如何量化东山岛景观格局梯度变化特征与驱动因子关系,并能在空间上进行表达,更为准确深入地探讨人类活动的区域差异对景观变化的影响有待深入研究。

参考文献 (References):

- [1] Serra P, Pons X, Saurí D. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 2008, 28(3): 189-209.
- [2] Yeh C T, Huang S L. Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 93(3/4): 151-162.
- [3] 孙娟, 夏汉平, 蓝崇钰, 辛琨. 基于缓冲带的贵港市城市景观格局梯度分析. *生态学报*, 2006, 26(3): 655-662.
- [4] 李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 曲衍波. 大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例. *生态学报*, 2013, 33(17): 5363-5374.
- [5] 仇江啸, 王效科, 逮非, 欧阳志云, 郑华. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例. *生态学报*, 2012, 32(9): 2659-2669.
- [6] Forman R T T, Godron M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1986.

- [7] Liu S L, Dong Y H, Deng L, Liu Q, Zhao H D, Dong S K. Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: a case study in the Lancang River Valley. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 160-168.
- [8] Velázquez A, Bocco G, Romero F J, Vega A P. A landscape perspective on biodiversity conservation: the case of Central Mexico. *Mountain Research and Development*, 2003, 23(3): 240-246.
- [9] Tian Y H, Jim C Y, Tao Y, Shi T. Landscape ecological assessment of green space fragmentation in Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2011, 10(2): 79-86.
- [10] Girvetz E H, Thorne J H, Berry A M, Jaeger J A G. Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: a statewide multi-scale case study from California, USA. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 86(3/4): 205-218.
- [11] Gao J B, Li S C. Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 292-302.
- [12] Carmona A, Nahuelhual L. Combining land transitions and trajectories in assessing forest cover change. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 904-915.
- [13] Echeverria C, Coomes D A, Hall M, Newton A C. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, 2008, 212(3/4): 439-449.
- [14] Hernández A, Miranda M, Arellano E C, Saura S, Ovalle C. Landscape dynamics and their effect on the functional connectivity of a Mediterranean landscape in Chile. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 198-206.
- [15] Weng Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81(4): 341-353.
- [16] Xi J Y, Ng C N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79(1): 96-109.
- [17] 李栋科, 丁圣彦, 梁国付, 赵清贺, 汤茜, 孔令华. 基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析. *生态学报*, 2014, 34(12): 3414-3424.
- [18] McGarigalv K, Ene E, Holmes C. FRAGSTATS (Version 3): FRAGSTATS Metrics. Amherst: University of Massachusetts, 2002.
- [19] Burrough P A. GIS and geostatistics: essential partners for spatial analysis. *Environmental and Ecological Statistics*, 2001, 8(4): 361-377.
- [20] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [21] Clark I. Practical Geostatistics. London: Applied Science, 1979.
- [22] 薛冬冬, 余光辉, 温小荣, 孙浩晗, 李勤文, 周易春. 基于地统计分析的南京钟山风景区景观格局尺度效应分析. *西南林业大学学报*, 2012, 32(1): 30-35.
- [23] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华, 谈文琦, 梅安新. 不同尺度下城市景观综合指数的空间变异特征研究. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2053-2059.
- [24] 福建省人大常委会. 福建省沿海防护林条例. (1995-09-29). <http://www.law-lib.com/lawhtml/1995/26602.htm>.
- [25] 海南省人民代表大会常务委员会. 海南经济特区海岸带保护与开发管理规定. (2013-04-02). <http://www.hainan.gov.cn/data/law/2013/04/1852/>.
- [26] Balaguer P, Sardá R, Ruiz M, Diedrich A, Vizoso G, Tintoré J. A proposal for boundary delimitation for integrated coastal zone management initiatives. *Ocean & Coastal Management*, 2008, 51(12): 806-814.
- [27] Boesch D F. Science and integrated drainage basin coastal management: the Chesapeake Bay and the Mississippi Delta. In: von Bodungen B and Turner R K (eds). *Science and Integrated Coastal Management*. Berlin: Dahlem University Press, 2001.