

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.05.019

# 基于 LUCC 和景观格局变化的海南东寨港红树林湿地动态研究

吴庭天<sup>1</sup>, 丁山<sup>2</sup>, 陈宗铸<sup>1\*</sup>, 雷金睿<sup>1</sup>, 陈小花<sup>1</sup>, 李苑菱<sup>1</sup>

(1. 海南省林业科学研究院, 海南省红树林研究院, 海南海口 571100; 2. 国家林业和草原局中南调查规划设计院, 湖南长沙 410014)

**摘要:** [目的] 探究海南东寨港红树林湿地的动态变化, 为推进红树林湿地保护、海岸带修复、退塘还湿等重大生态措施的开展提供理论参考。[方法] 本研究从景观格局和土地利用两个层面描述东寨港地区红树林湿地的动态变化特征, 通过结合土地利用/覆被变化 (LUCC) 和景观生态指数 2 种方法, 探究红树林湿地动态变化。[结果] (1) 从土地利用的角度看, 1988—2016 年间, 研究区域养殖水面和建筑面积大比例增长, 分别从占总面积的 1.6% 和 1.86%, 上升到 11.89% 和 9.39%; 林地和耕地面积相对减少, 占比分别从 17.61% 和 38.89%, 下降到 11.83% 和 27.06%; (2) 从景观角度看, 斑块密度和数量的上升、平均斑块面积的下降、面积加权平均形状破碎化指数的高位稳定等景观指标状态都显示东寨港地区在研究区间内景观破碎化程度正在逐渐加大; (3) 景观破碎化指数与各景观类型面积变化的相关性分析结果表明, 耕地面积的减少加上建筑用地和养殖水面面积的增加促使景观破碎化的加重; (4) 红树林在整个研究区间内总面积未出现明显波动, 与其它地类间的互动主要表现在耕地、养殖水面和水域之间的转换。[结论] 东寨港红树林湿地在近 30 年间, 发生了养殖水面和建筑面积的增长以及林地和耕地面积的减少等土地利用变化, 而耕地面积的减少, 建筑用地和养殖水面面积的增加促使景观破碎化加重。

**关键词:** LUCC; 景观格局; 东寨港; 红树林湿地

**中图分类号:** S718.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2020)05-0154-09

自然、社会两种生态系统在不同的时间和空间尺度上相互作用引起的土地利用类型的综合变化, 是人类学者对土地利用/覆被变化 (LUCC) 的基本定义<sup>[1]</sup>, 它在结构和功能上影响着整个生态系统的服务功能, 对维持生态系统的稳定性起着决定性作用<sup>[2]</sup>。人类社会最早涉及土地利用/覆被变化相关方面的探索可以追溯到 19 世纪 30 年代, 当时针对该领域的研究相对粗糙, 主要是对土地的类型进行勘察以及现状分析<sup>[2]</sup>。目前, 国外的相关研究主要围绕对不同空间范围内土地利用/覆被变化的直接监测、时空变化、驱动力因素、环境效应以及修复模型和预测评估等方面的分析探究<sup>[3-5]</sup>。我国从 20 世纪 60 年代开始相关方面的研究, 起步较国外

稍晚, 但随着我国现代化建设的不断推进, 土地利用/覆被变化研究在城乡开发进程中发展迅速, 通过结合航空航天遥感和地理信息技术建立相关模型, 探究驱动土地利用/覆被变化的主要影响因子及其所带来生态环境效应等相关应用已经日趋成熟<sup>[6-7]</sup>。

近年, 景观生态学发展迅速, 将景观生态学融入 LUCC 中, 从景观尺度上探究 LUCC 在时空变换中的结构特征、动态变化、演变规律已成为 LUCC 研究的热点话题, 主要运用景观生态学原理<sup>[8]</sup>和数理统计分析方法<sup>[9-10]</sup>将景观和 LUCC 的动态变化结合起来, 从景观格局和土地利用两个层面描述土地利用变化的景观动态, 定量分析区域生态的敏

收稿日期: 2020-04-08 修回日期: 2020-06-19

基金项目: 海南省重大科技计划项目: “热带森林资源与环境智能化监测技术体系研究与应用” (ZDKJ201807)

\* 通讯作者: 陈宗铸, 男, 副研究员, 主要从事林业生态及林业信息应用研究, E-mail: chenrongzhu@foxmail.com

感性、脆弱性、风险性及生态修复意见<sup>[11-12]</sup>。

在我国,已有大量研究人员对广东<sup>[13]</sup>、广西<sup>[14]</sup>、福建<sup>[15]</sup>、浙江<sup>[16]</sup>和海南<sup>[17]</sup>5个省的红树林动态变化及景观格局进行了研究。东寨港作为海南省最大的半封闭港湾式泻湖,生物资源丰富,内含我国成片面积最大的红树林保护区,分布有全国95%的红树林植物<sup>[18-19]</sup>。黄星等<sup>[20]</sup>、罗丹等<sup>[21]</sup>、王小军等<sup>[22]</sup>分别通过不同时期的遥感影像,分析了东寨港地区地表覆被的变化情况及其驱动力;辛昆等<sup>[23]</sup>结合RS、GIS和景观指数分析了东寨港地区红树林在不同时期的变化特征。加强对该地区土地利用和景观格局等生态学研究,有助于推进红树林湿地保护、海岸带修复、退塘还湿等重大生态措施的开展。基于此,本文以东寨港海岸线和保护区界线向内陆缓冲1 km的区域为研究范围,结合东寨港及其周边地区1988—2016年6个时段相近时相的遥感影像,综合土地利用/覆被变化和景观斑块指数2种方法,探究该地区红树林湿地的动态变化,以期以东寨港地区生态环境保护及城乡建设和谐发展提供参考。

## 1 研究区域概况

东寨港位于海南岛东北部(19°51'56"~20°02'22" N, 110°31'26"~110°39'20" E),地跨海口和文昌两市,整体呈漏斗状深入内陆15 km,形成半封闭港湾式泻湖。内含东寨港国家级自然保护区和清澜港省级自然保护区(部分)2个红树林保护区,其中,东寨港国家级自然保护区是我国成立最早的红树林湿地保护区。该地区年均气温23.3~23.8℃,年均降水量1 676.4 mm,典型的热带季风海洋气候为红树林的生长提供了良好的生存环境,其内共有红树植物种类17科33种,包括真红树植物9科22种,半红树植物8科11种,植物结构组成带有明显的东方群系特征。20世纪80年代围垦养殖和围垦造陆在海南大力推行,对海南省沿海岸带植被和土地利用产生了巨大影响<sup>[24-26]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与预处理

本研究所使用遥感数据均来自中国科学院计算机网络信息中心(地理空间数据云 <http://www.gscloud.cn/>),主要包括研究区域1988、1995、2000、2005、2010、2016年6个不同时期相近时相的遥

感影像数据,分辨率为30 m。数据与处理中首先用ENVI5.3对遥感影像进行大气校正和几何校正,将误差控制在0.5个像元内;其次,选择能良好表现红树林湿地信息的波段组合运用监督分类进行地物提取;第三,在GIS软件中结合实地调查验证数据对分类结果进行修正,使最终总体分类精度超过90%。

### 2.2 分类方法

参照《中国湿地调查大纲》以及《土地利用现状调查技术规程》中湿地和土地利用现状的分类标准,在结合前人研究成果<sup>[24,27]</sup>的基础上,根据现实需求将研究区域景观斑块分为6个类型,分别为养殖水面(人工开挖或天然形成用于水产养殖的水面)、水域(陆地及海洋水域,沟渠、水工建筑物等用地)、建筑用地(人工建设用地)、红树林(沿海生长红树植物的林地)、林地(生长乔木、竹类、灌木的土地,包括种植园)、耕地(指种植农作物的土地,包括熟地,新开发、复垦、整理地、轮歇地、休耕地等),最终分类的结果见图1。

### 2.3 数据分析方法

参照国内外在景观生态上的研究成果及方法,本文选取斑块数量( $NP$ )、斑块面积( $CA$ )、平均斑块面积( $MPS$ )、斑块密度( $PD$ )、斑块平均形状破碎化指数( $FS_1$ )、面积加权平均形状破碎化指数( $FS_2$ )和蔓延度指数( $CONTAG$ )等7项生态景观指标<sup>[24,28-29]</sup>,对地类变化形成的生态景观变化进行分析;同时运用SPSS软件对地类面积变化和景观指数变化进行相关性分析,揭示景观动态对地类变化的响应。各生态景观指标的公式如下:

斑块面积( $CA$ ):

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

平均斑块面积( $MPS$ ):  $MPS = A_i/N_i$

斑块密度( $PD$ ):  $PD = n_i/A$

斑块平均形状破碎化指数( $FS_1$ ):

$$FS_1 = 1 - 1/MSI$$

$$MSI = \sum_{i=1}^N \frac{SI(i)}{N}$$

$$SI(i) = \frac{P(i)}{4\sqrt{A(i)}}$$

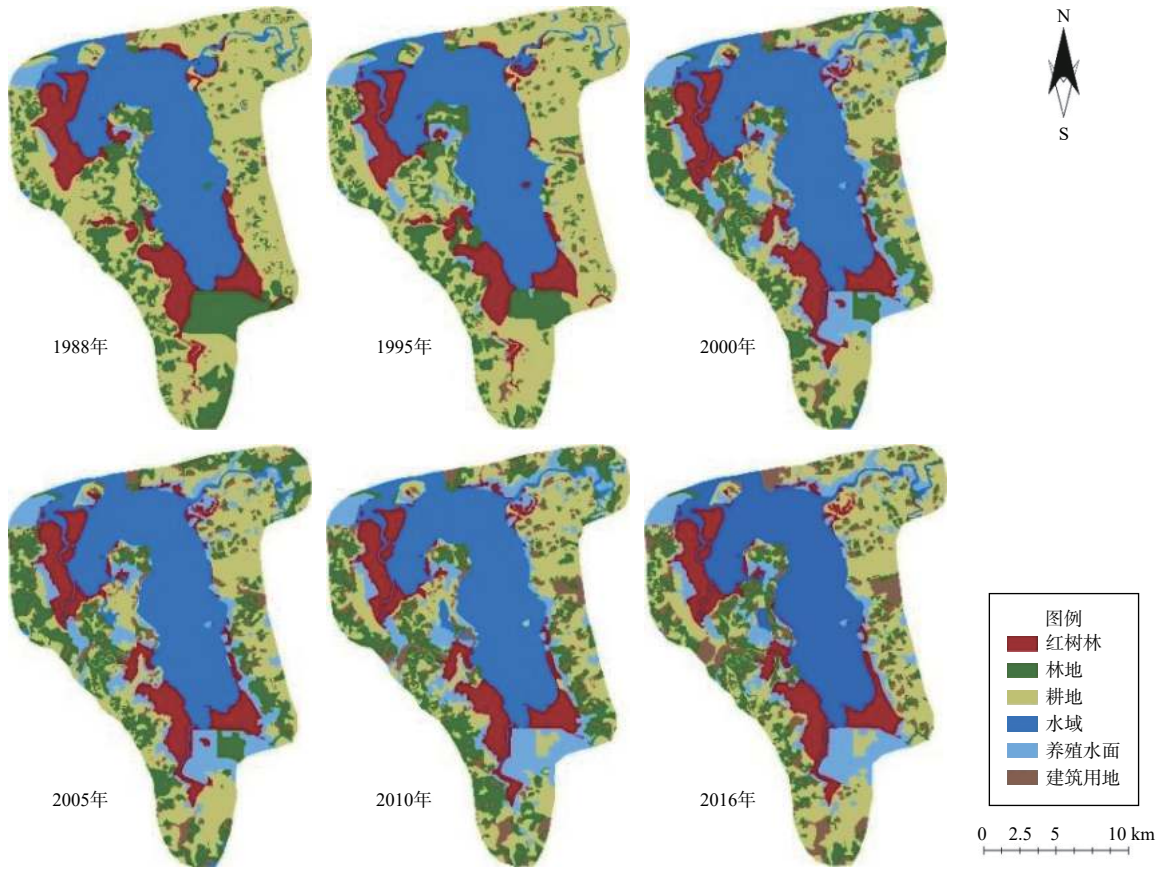


图1 分类结果图

Fig. 1 Classification result chart

面积加权平均形状破碎化指数 ( $FS_2$ ):

$$FS_2 = 1 - 1/ASI$$

$$ASI = \frac{\sum_{i=1}^N A(i)SI(i)}{A_i}$$

$$A_i = \sum_{i=1}^N A(i)$$

蔓延度 ( $CONTAG$ ):

$$CONTAG =$$

$$1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \times \left[ \ln P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)}$$

上述公式中:  $a_{ij}$  代表第  $i$  类景观所有斑块面积之和,  $A_i$  表示同类型斑块面积之和,  $N_i$  为该类型景观斑块数量;  $n_i$  为第  $i$  类景观要素总面积,  $A$  为全部景观类型的面积之和;  $FS_1$  和  $FS_2$  是 2 个景观类型斑块形状破碎化指数,  $MSI$  表示斑块平均形状指数,  $MSI \geq 1$ ,  $MSI$  越大表示斑块形状越偏离正方形;  $SI(i)$  表示景观斑块  $i$  的形状指数,  $P(i)$  代表斑块  $i$  的周长;  $A(i)$  代表斑块  $i$  的面积;  $ASI$  表示面积

加权的景观斑块平均形状指数,  $ASI$  越大代表斑块形状越不规则; 蔓延度 ( $CONTAG$ ) 值越小斑块聚集度越低, 破碎化越大;  $g_{ik}$  是景观类型  $i$  和  $k$  之间的节点数,  $P_i$  是景观类型  $i$  占研究区总面积的比重;  $m$  代表景观类型数目。

### 3 结果与分析

#### 3.1 东寨港红树林湿地土地利用覆被变化

由图2可知: 湿地、耕地、林地、建筑用地组成了研究区域全部覆被类型, 土地利用/覆被变化从 1988—2016 年期间在各地类之间不断转换。研究区域内, 建筑用地和湿地面积呈逐年增长趋势, 耕地面积呈减小趋势。湿地系统由红树林、水域、养殖水面三大部分组成, 其中, 养殖水面的面积从 1988 年占研究区域总面积的 1.60% 上升到 2016 年的 11.89%, 其面积变化对湿地面积变化起到主导作用。通过土地转移矩阵 (表 1 和表 2) 可知: 1988—2016 年间, 耕地面积共减少 1 865  $hm^2$ , 其中, 转化成养殖水面的面积为 977.78  $hm^2$  (数据

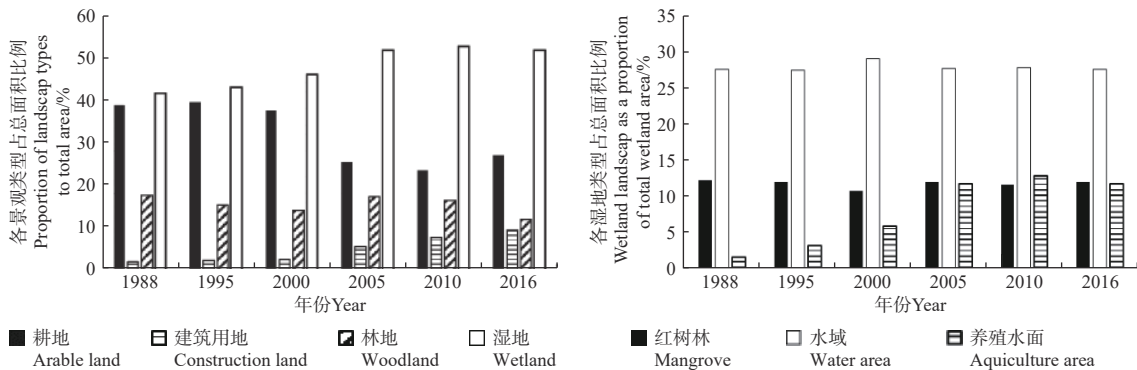


图 2 东寨港红树林湿地各景观类型面积动态变化图

Fig. 2 The dynamic change of the proportion of the landscape types in Dong zhai port mangrove wetland

表 1 1988—2016 年东寨港红树林湿地各景观类型面积动态变化属性表

Table 1 The dynamic change of the proportion of the landscape types in Dong zhai port mangrove wetland in 1988—2016

年份 Year	景观类型面积 Landscape type area/hm <sup>2</sup>					
	耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
1988	6 133	1 940	294	2 777	4 375	252
1995	6 224	1 906	354	2 421	4 357	509
2000	5 912	1 717	392	2 209	4 609	932
2005	4 023	1 905	869	2 709	4 392	1 873
2010	3 697	1 847	1 198	2 589	4 406	2 034
2016	4 268	1 907	1 481	1 865	4 375	1 875

未列出)。由此可见,湿地的变化动态主要体现在养殖水面的变化上。

由表 1 可知:1988—2016 年期间,养殖水面面积增长 1 623 hm<sup>2</sup>,其主要来自耕地和林地的转化(表 2);2000 年以后,城镇建设和旅游业的发展使得大面积的林地和耕地转化为建筑用地,建筑用地面积比例从 2.49% 上升到 9.39% (图 2),面积从 392 hm<sup>2</sup> 增长到 1 481 hm<sup>2</sup>,同时期的耕地和林地面积大幅降低;从景观斑块间的相互转化关系看,养殖水面和建筑用地面积快速增长,与之相对应的是耕地面积的快速减少。而其它红树林、水域等景观类型,在研究区内整体面积上未有大的变化,但景观类型间的转换仍旧活跃。

### 3.2 东寨港红树林湿地景观破碎化分析

统计分析各时期景观破碎化指数,揭示斑块景观格局的动态变化。结果(图 3)显示:1988—2016 年间,平均斑块面积和斑块平均形状破碎化指数均呈现下降趋势,斑块数量和面积加权平均形状破碎化指数呈增长趋势,其中,平均斑块面积从 37.2 hm<sup>2</sup> 降到 26.6 hm<sup>2</sup>,缩减幅度达 28.5%,斑块

平均形状破碎化指数从 0.63 下降到 0.26;斑块数量由 424 个增长至 593 个,增幅为 39.86%,面积加权斑块平均形状破碎化指数则保持高位微增长,由 1988 年的 0.91 到 2016 年的 0.92。

斑块空间水平指数分析结果(图 3)显示:在近 30 年期间,东寨港地区斑块密度从 1988 年的 0.03 个·hm<sup>-2</sup> 增长到 2016 年的 0.04 个·hm<sup>-2</sup>;最大斑块面积由 4 182 hm<sup>2</sup> 上升到 4 311.5 hm<sup>2</sup>。从斑块空间连通性分析可知:研究区域的蔓延度由 1988 年的 82.2% 到 2016 年 83.4%,表明研究区域内斑块之间始终存在较高的连通性。

结合景观地类面积变化和景观指数的变化可知:1988—2016 年间,耕地、养殖水面、建筑用地的面积变化对景观格局的变化有着积极的响应,斑块数量、斑块密度、平均斑块面积以及面积加权平均形状破碎化等指数状态,都表现出东寨港红树林湿地景观破碎化程度正在进一步加大;另一方面,大面积斑块作为整个区域的主要支撑结构,在空间上保持着良好的连续性,分布逐渐趋向于稳定,因而,虽然研究区域内地类间的转变仍较活跃,但整体景观破碎化的趋势正在逐渐减弱。

表 2 1988—2016 年东寨港红树林湿地景观转移矩阵

Table 2 The landscape transition matrix of mangrove Wetland in Dong zhai port in 1988—2016

年份 Year	面积 Area/hm <sup>2</sup>	1995					
		耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
1988	耕地 Arable land	—	51.16	58.57	253.57	47.10	200.25
	红树林 Mangrove	72.25	—	0.13	36.62	61.47	71.34
	建筑用地 Construction land	0.59	0.00	—	0.85	2.83	0.00
	林地 Woodland	574.77	55.17	2.98	—	16.24	11.43
	水域 Water area	36.76	85.90	1.40	20.68	—	3.81
	养殖水面 Aquiculture area	17.11	4.11	0.84	4.22	3.47	—
年份 Year	面积 Area/hm <sup>2</sup>	2000					
		耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
1995	耕地 Arable land	—	49.04	34.04	223.58	87.00	379.95
	红树林 Mangrove	62.64	—	0.38	25.35	158.88	82.73
	建筑用地 Construction land	1.42	0.36	—	1.05	4.22	0.00
	林地 Woodland	321.09	39.80	9.52	—	43.91	67.80
	水域 Water area	20.54	31.64	0.90	11.24	—	1.24
	养殖水面 Aquiculture area	55.88	20.77	0.00	8.86	23.62	—
年份 Year	面积 Area/hm <sup>2</sup>	2005					
		耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
2000	耕地 Arable land	—	86.00	333.68	1 456.09	62.54	813.69
	红树林 Mangrove	33.33	—	3.72	53.83	44.39	68.28
	建筑用地 Construction land	17.26	0.00	—	47.14	2.02	0.81
	林地 Woodland	684.65	48.18	200.04	—	17.28	129.48
	水域 Water area	47.82	179.67	4.36	17.12	—	108.07
	养殖水面 Aquiculture area	79.84	77.39	3.02	5.68	13.27	—
年份 Year	面积 Area/hm <sup>2</sup>	2010					
		耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
2005	耕地 Arable land	—	3.06	93.65	690.84	78.80	223.67
	红树林 Mangrove	16.09	—	0.00	3.08	11.45	41.84
	建筑用地 Construction land	21.25	0.00	—	12.53	0.00	0.00
	林地 Woodland	531.82	0.00	261.10	—	0.00	72.03
	水域 Water area	60.15	2.45	0.00	0.00	—	13.69
	养殖水面 Aquiculture area	134.84	9.10	7.59	38.51	0.00	—
年份 Year	面积 Area/hm <sup>2</sup>	2016					
		耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
2010	耕地 Arable land	—	27.65	85.38	413.70	11.22	65.09
	红树林 Mangrove	0.00	—	0.00	0.00	2.45	0.56
	建筑用地 Construction land	0.13	0.00	—	0.34	0.00	4.17
	林地 Woodland	949.33	0.04	197.98	—	0.03	0.85
	水域 Water area	26.92	5.20	4.38	7.70	—	13.69
	养殖水面 Aquiculture area	197.79	29.67	0.00	2.22	0.00	—

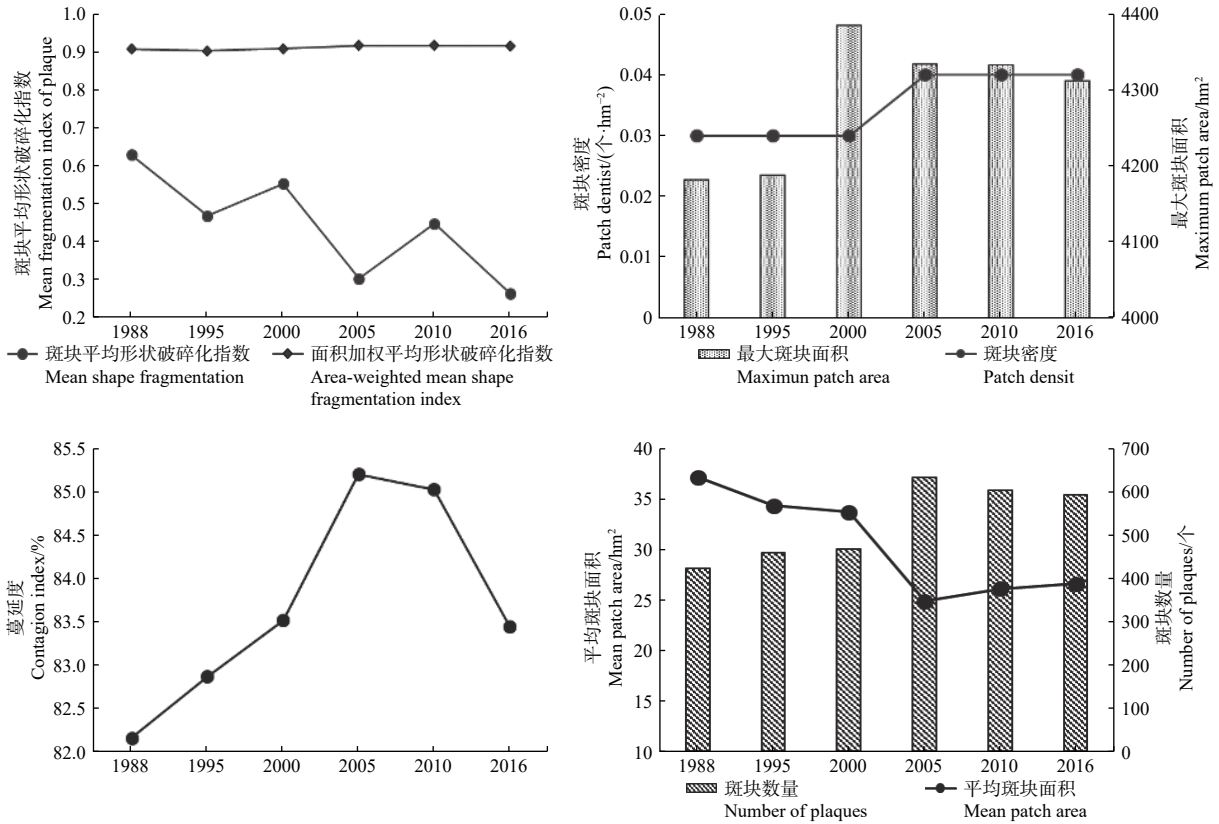


图3 东寨港红树林湿地景观指数变化

Fig. 3 The landscape index change in Dong zhai port mangrove wetland

3.3 景观类型变化对景观破碎化指数的响应

区域景观结构的完整性很大程度上决定于该地区是否完成对土地的合理利用, 不合理的土地利用会导致生物多样性降低、斑块破碎化和生境的退化。在 SSPS 软件上进行土地利用/覆被变化与景观指数的相关性分析, 结果 (表 3) 显示: 耕地、养殖水面和建筑用地三大类型的面积变化与大部分景观指数存在显著或极显著相关性, 而这三种地类的面积变化大都以人为因素为主导, 其中, 耕地与斑

块数量、面积加权平均形状破碎化指数呈极显著负相关, 与蔓延度呈显著负相关, 与平均斑块面积呈极显著正相关; 建筑用地分别与斑块数量、面积加权平均形状破碎化指数呈显著正相关, 与平均斑块面积呈显著负相关; 养殖水面则与斑块数量、面积加权平均形状破碎化指数呈极显著正相关, 与蔓延度呈显著正相关, 与平均斑块面积呈极显著负相关。从分析结果看, 耕地面积的减少, 建筑用地和养殖水面面积的增加是景观破碎化加大的直接因素。

表 3 东寨港红树林湿地景观破碎化指数与景观类型面积变化之间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between landscape fragmentation index and landscape type area change in Dong zhai port mangrove wetland

景观指数 Landscape index	耕地 Arable land	红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture
斑块数量 Number of plaques	-0.970**	0.104	0.850*	-0.112	-0.218	0.971**
平均斑块面积 Mean patch area	0.966**	-0.084	-0.855*	0.135	0.217	-0.975**
斑块平均形状破碎化指数 Mean shape fragmentation index	0.736	-0.255	-0.799	0.426	0.342	-0.792
面积加权平均形状破碎化指数 Area-weighted mean shape fragmentation index	-0.965**	0.073	0.847*	-0.046	-0.129	0.930**
蔓延度 Contagion index	-0.844*	-0.192	0.549	0.16	0.06	0.852*

注: \*和\*\*分别代表显著水平0.05和0.01。

Note: \* and \*\* represent significant levels of 0.05 and 0.01, respectively.

## 4 讨论

从土地利用/覆被变化看, 1988—2016年近30年间, 东寨港及周边地区土地利用发生了巨大变化, 主要表现在(1)养殖水面的面积占比从1988年的1.6%上升到2016年的11.89%, 总面积增长1 623 hm<sup>2</sup>; (2)建筑用地面积占比由1.86%上升到9.39%, 总面积增长1 187 hm<sup>2</sup>; (3)林地面积占比由1988年的17.61%下降到2016年的11.83%, 总面积减少912 hm<sup>2</sup>; (4)耕地的面积由38.89%下降到2016年的27.06%, 总面积减少1 865 hm<sup>2</sup>, 其中, 养殖水面的面积增长主要来自耕地的转化, 建筑用地面积的增长则主要来自林地和耕地转化; 其余地类, 在整个研究区内虽整体面积上未有大的变化, 但景观类型间的转换仍是活跃的。

从景观生态学的角度看, 斑块密度上升, 数量的增加、平均斑块面积下降、面积加权平均形状破碎化指数的高位稳定等景观指标状态都表明东寨港地区在1988—2016年期间景观斑块间分离、破碎化程度正在逐渐加大, 这与韩淑梅<sup>[17]</sup>、辛昆等<sup>[23]</sup>对东寨港地区红树林衰减和破碎化加剧的景观变化分析结果以及甄佳宁等<sup>[30]</sup>对清澜港红树林遥感监测得到的斑块密度增大、分离度升高、聚集度和连接度不断减小的分析结果保持一致; 其原因主要来自两个方面, 一是毁林晒盐、发展种植业。据统计, 自20世纪50年代中期起, 东寨港地区开始毁林建盐场; 到70年代初开始围海造农田, 尽管进入80年代后, 毁林造盐田和农田事件逐渐减少, 但废弃盐田以及无法种植的农田, 多数在90年代中期又改为养殖塘<sup>[31]</sup>, 景观破碎化持续发生。二是2000年后养殖业、地产业和旅游业的飞速发展引起的建设用地和养殖塘面积快速增长, 加大了林地、耕地以及建设用地等景观类型本身的破碎化程度<sup>[20]</sup>, 这在福建和广西等地区的相关红树林的研究中也得到了论证<sup>[32-33]</sup>。景观破碎化指数与各景观类型面积变化的相关性分析结果也表明, 耕地面积的减少, 建筑用地和养殖水面面积的增加直接导致了景观破碎化的加重。

作为红树林湿地最重要的组成部分, 东寨港的红树林群落在整个研究区内总面积未出现大的变化, 红树林与其它地类间的互动, 主要表现在跟耕地、养殖水面和水域三个类型之间的面积转换; 其中, 2000年出现低谷期, 总面积相对1995年减少

189 hm<sup>2</sup>, 主要发生在红树林向水域、养殖水面和耕地转移上; 20世纪90年代, 海南省大力发展水产养殖业对红树林生态系统造成了很大的伤害, 伴随着养殖水面面积的爆炸式增长, 大量的滩涂被开挖成池塘, 红树林湿地面积急剧下降<sup>[34]</sup>; 到1999年东寨港保护区制定并实施相关管理办法, 开始在宜林滩涂和红树林残疏林地等适宜恢复区进行人工补植红树林, 扩大和恢复红树林湿地生态系统, 到2005年红树林面积已恢复至1995年水平。因此, 尽管因为围垦养殖与围垦造农田、盐田对红树林生态系统造成一定程度的破坏, 但后期对宜林地的人工繁育措施, 使红树林面积得到恢复<sup>[22]</sup>。2012年东寨港地区爆发团水虱, 至2015年仍未得到有效遏制, 红树林大面积死亡<sup>[35]</sup>; 而2014年, 台风“威马逊”的侵袭又加剧了该地区红树林的退化<sup>[22, 36]</sup>, 但得益于近年来海南省对水产养殖业实施限养、禁养、关闭、拆除等大力环保整治手段以及退塘还湿工作的有效推进, 使得东寨港地区红树林面积在2005年至2016年期间未产生大的波动。另外, 从我国各省近几十年红树林的动态分布看, 红树林分布重心转移明显, 轨迹方向基本与海岸潮间带走向一致, 大多指向受到良好波浪掩护的港湾或河口湾内<sup>[37]</sup>, 这更凸显了东寨港地区红树林保护区工作的重要性。

我国的红树林主要分布在海南、广西、广东、浙江、福建5个省份的沿海地区, 南至海南三亚, 北以浙江温岭市为界, 南北红树林分布区在气候上有较大差异, 但综合前人的研究成果可以发现, 影响红树林群落的稳定性及生态脆弱性的胁迫因子主要来自两个方面: 陆地(围海造田、围垦养殖、人造林、旅游)和海洋(海平面上升、病虫害、台风)<sup>[20, 35, 38]</sup>; 近年随着国家对红树林湿地发展的高度重视, 海南省相继出台了多项法律法规, 红树林湿地的破坏势头得以控制, 同时严厉退塘还林政策也使红树林湿地生态系统得到了一定程度的恢复; 虽然斑块破碎化仍然不可避免, 但区域优势斑块逐渐明显, 连接程度良好, 土地利用结构正趋向稳定健康。基于本研究结果, 建议东寨港地区在红树林湿地保护和保育工作方面可以加大退塘还湿以及退耕还林工作力度, 减少养殖水面和耕地对红树林湿地的侵蚀; 在生物多样性保护方面, 应合理规划布局城乡建设红线, 减少建筑用地及农业用地对生境破碎化的影响。

## 5 结论

(1) 1988—2016年间,研究区域养殖水面和建筑面积大幅增长,林地和耕地面积减少,红树林面积动态稳定。

(2) 斑块密度和数量的上升、平均斑块面积的下降、面积加权平均形状破碎化指数的高位稳定等景观指标状态都表明,东寨港地区在研究区间内景观斑块间分离、破碎化程度正在逐渐加大。

(3) 耕地面积的减少,建筑用地和养殖水面面积的增加是景观破碎化加重的主要原因。

(4) 红树林的面积变化在整个研究区间内总面积未出现明显波动,与其它地类间的互动主要表现在与耕地、养殖水面和水域之间的转换。

## 参考文献:

- [1] 黄剑彬,毋鑫海,戴文远,等. 2000—2013年海坛岛土地利用/覆被变化与驱动力分析[J]. 海南师范大学学报:自然科学版, 2016, 29(3): 313-319.
- [2] 丁健辉. 基于LUCC的黄河三角洲生态系统服务功能动态评估[D]. 山东: 济南大学, 2017.
- [3] Bae J, Ryu Y. Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2015, 136(136): 57-67.
- [4] Singh R B, Shi C. Advances in observation and estimation of land use impacts on climate changes: improved data, upgraded models, and case studies[J]. *Advances in Meteorology*, 2014, 2014(3): 1-7.
- [5] Muf K, Saggat S, Tate K R, *et al.* Comprehensive evaluation of the climate-change implications of shifting land use between forest and grassland: New Zealand as a case study[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2012, 150(1-2): 123-138.
- [6] 李爱农,周万村,江晓波. 遥感和GIS技术支持下的岷江上游15年土地利用/土地覆被动态变化研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(4): 153-156.
- [7] 盖永芹,李晓兵,张立,等. 土地利用/覆被变化与植被盖度的遥感监测——以北京市密云县为例[J]. *资源科学*, 2009, 31(3): 523-529.
- [8] 井云清,张飞,陈丽华,等. 艾比湖湿地土地利用/覆被-景观格局和气候变化的生态环境效应研究[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(9): 3590-3601.
- [9] Zhang Y, Li X, Liu X, *et al.* Self-modifying CA model using dual ensemble Kalman filter for simulating urban land-use changes[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2015, 29(9): 1612-1631.
- [10] Azizi A, Malakmohamadi B, Jafari H. Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model[J]. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2016, 2(3): 223-234.
- [11] 张月,张飞,王娟,等. 基于LUCC的艾比湖区域生态风险评价及预测研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(11): 3465-3474.
- [12] 赵岩洁,李阳兵,邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区小流域生态风险评价——以草堂溪为例[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(6): 944-956.
- [13] 杨加志,胡喻华,罗勇,等. 广东省红树林分布现状与动态变化研究[J]. *林业与环境科学*, 2018, 34(5): 24-27.
- [14] 王柏鹏,曾睿,廖超明,等. 广西北海市红树林湿地景观格局演变分析[J]. *南方国土资源*, 2019(11): 63-64, 67.
- [15] 张怀清,赵峰,崔丽娟. 红树林湿地恢复遥感动态监测技术研究[J]. *林业科学研究*, 2008, 21(Z1): 32-36.
- [16] 卢元平. 中国五省红树林景观格局的十年动态及保护空缺研究[D]. 云南: 云南大学, 2018.
- [17] 韩淑梅. 海南东寨港红树林景观格局动态及其驱动力研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [18] 郑德璋,廖宝文. 海南岛清澜港和东寨港红树林及其生境的调查研究[J]. *林业科学研究*, 1989, 2(5): 432-441.
- [19] 林生,林惠宇. 海南东寨港国家级自然保护区及其周边陆域植物资源与植被调查研究[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(2): 398-404.
- [20] 黄星,辛琨,李秀珍,等. 基于斑块的东寨港红树林湿地景观格局变化及其驱动力[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1510-1518.
- [21] 罗丹,李正会,王德智,等. 海口市东寨港红树林面积动态变化分析[J]. *农村经济与科技*, 2013, 24(2): 97-99.
- [22] 王小军,冯时泽. RS、GIS在海南东寨港红树林保护区地表覆盖研究中的应用[J]. *测绘通报*, 2010(2): 22-25.
- [23] 辛琨,黄星. 海南东寨港红树林景观变化与原因分析[J]. *湿地科学与管理*, 2009, 5(2): 56-57.
- [24] 徐晓然,谢跟踪,邱彭华. 1964—2015年海南省八门湾红树林湿地及其周边土地景观动态分析[J]. *生态学报*, 2018, 38(20): 7458-7468.
- [25] 辛琨,黄星,张淑萍. 海南东寨港红树林湿地生态功能评价[J]. *湿地科学与管理*, 2008, 4(4): 28-31.
- [26] 徐蒂,廖宝文,朱宁华,等. 海南东寨港红树林退化原因初探[J]. *生态科学*, 2014, 33(2): 294-300.
- [27] 唐小平,黄桂林. 中国湿地分类系统的研究[J]. *林业科学研究*, 2003, 16(5): 531-539.
- [28] 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J]. *生态学报*, 2013, 33(14): 4436-4449.
- [29] 刘红玉,吕宪国,张世奎,等. 三江平原流域湿地景观破碎化过程研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 289-295.
- [30] 甄佳宁,廖静娟,沈国状. 1987以来海南省清澜港红树林变化的遥感监测与分析[J]. *湿地科学*, 2019, 17(1): 44-51.
- [31] 王丽娟. 试述海口市风沙化土地状况及防治对策[J]. *热带林业*, 2006, 34(4): 20-22.
- [32] 刘大召,韩泽文,沈春燕. 1991—2011年廉江红树林分布及变化的遥感分析[J]. *海洋科学*, 2019, 43(4): 22-28.
- [33] 路春燕,高弋斌,陈远丽,等. 基于RS/GIS的泉州湾红树林湿地时空动态变化分析[J]. *森林与环境学报*, 2019, 39(2): 143-152.



- [34] 李云哲, 蒲凌海, 孙 涛. 东寨港地区红树林湿地恢复的生态补偿效应评估[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(24): 3, 10.
- [35] 高 春. 团水虱灾害在海南东寨港红树林的分布规律[D]. 海南: 海南师范大学, 2016.
- [36] 颜秀花, 蔡榕硕, 郭海峡, 等. 气候变化背景下海南东寨港红树林生态系统的脆弱性评估[J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(3): 338-349.
- [37] 何玉花, 张东水, 邱炳文, 等. 中国红树林与典型区红树林群落重心迁移特征及共性关系[J]. 生态学杂志, 2019, 38(8): 2326-2336.
- [38] 王伯荪, 梁士楚, 张军丽, 等. 海南岛红树植物的构筑型及其多样性[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2002, 41(5): 83-85, 110.

## Dynamic Analysis of Mangrove Wetlands Based on LUCC and Landscape Pattern Change in Dongzhai Port

WU Ting-tian<sup>1</sup>, DING Shan<sup>2</sup>, CHEN Zong-zhu<sup>1</sup>, LEI Jin-rui<sup>1</sup>, CHEN Xiao-hua<sup>1</sup>, LI Yuan-ling<sup>1</sup>

(1. Hainan Academy of Forestry/Hainan Academy of Mangrove, Haikou 571100, Hainan, China; 2. Central South Inventory and Planning Institute of State Forestry and Grassland Administration, Changsha 410014, Hunan, China)

**Abstract:** [Objective] To study the dynamic change of mangrove wetland in Dongzhai port, Hainan Province, and provide references for mangrove wetland protection, coastal zone restoration, converting the pond for wetland and other major ecological measures. [Method] The dynamic change characteristics of mangrove wetland in Dongzhai port were described from two aspects of landscape pattern and land use, and the dynamic change of mangrove wetland was studied by combining land use/cover change (LUCC) and landscape ecological index. [Result] (1) From the perspective of land use, from 1988 to 2016, the proportion of aquaculture area and construction land in Dongzhai port increased significantly, from 1.6% and 1.86% of the total area to 11.89% and 9.39% respectively. The area of woodland and arable land decreased from 17.61% and 38.89% to 11.83% and 27.06% respectively. (2) From the perspective of landscape, the high stability landscape indexes such as the increase of the density and the number of patch, the decrease of the mean patch area, the area-weighted mean shape fragmentation index, indicated that the degree of landscape fragmentation increased gradually in the study area of Dongzhai port. (3) The landscape fragmentation index and some correlation analysis about the changes of each landscape area showed the reduction of arable land. While the increase of construction land and aquaculture area surface area directly aggravated the degree of landscape fragmentation. (4) Mangroves, as the most important element of mangrove wetland, its area was mainly affected by disasters and human factors. There was no obvious change in the whole mangroves area of the study area in Dongzhai port. The change of area was bound with other land types like arable land, aquaculture area and water area. [Conclusion] In the past 30 years, the change of land use in Dongzhai port was mainly reflected in the increase of aquaculture area and construction land, and the reduction of woodland and arable land. The decline of the arable land and the increase of construction land and aquaculture area directly aggravated the degree of landscape fragmentation. At the same time, conservation efforts are focused on mangrove forests.

**Keywords:** LUCC; landscape pattern; Dongzhai port; mangrove wetland

(责任编辑: 徐玉秀)