

DOI: 10.5846/stxb201710261922

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. 生态学报, 2018, 38(20): - .

Xu X R, Xie G Z, Qiu P H. Dynamic analysis of landscape changes in Bamen port and the surrounding lands of Hainan Province from 1964 to 2015. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(20): - .

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

徐晓然, 谢跟踪*, 邱彭华

海南师范大学, 地理环境与科学学院, 海口 570000

摘要:以海南省文昌市八门港红树林湿地及其周边土地为研究对象, 采用 6 期遥感影像为主要的数据来源, 建立起研究区域内 1964、1972、1988、2000、2009、2015 年 50 年的景观数据库, 利用土地转移矩阵和表征景观破碎化过程的景观指数系统阐述了八门湾红树林湿地及其周边土地的土地利用/覆被变化以及景观破碎化的过程, 探讨八门湾红树林湿地及其周边土地土地利用/覆被变化与景观破碎化过程之间的相互关系。结果表明: (1) 1964—2015 年间, 研究区域内建筑用地、养殖水面面积持续增长面积比重分别上升了 7.72%、12.55%, 耕地、林地、红树林面积所占比重分别下降了 7.01%、9.16%、9.74%。(2) 1964—2015 年间, 研究区域内斑块数量增加了 685 个, 平均斑块面积缩减了 39.12%, 聚合度下降了 3.5%, 最大斑块面积缩减了 28.38%, 蔓延度下降了 9.26%, 斑块平均形状破碎化指数和面积加权平均形状破碎化指数分别上升了 0.0148、0.0207, 斑块密度从 1964 年的 0.0653 个/hm² 上升到 2015 年的 0.1073 个/hm²。(3) 八门湾红树林湿地及其周边土地的土地利用/覆被变化与景观破碎化过程的相关关系主要体现在养殖水面、建筑用地面积变化对研究区域景观破碎化指数的影响上。养殖水面、建筑用地面积变化对研究区域景观破碎化过程的影响主要体现在聚合度、斑块数量、蔓延度的作用上。其中, 养殖水面面积变化对研究区域景观破碎化过程的影响主要体现在其对红树林面积的侵占, 使得红树林面积占研究区域总面积的比例由 15% 下降到 5.25%, 红树林由大面积连续集中分布趋向于小面积孤立分散分布。建筑用地面积变化对研究区域景观破碎化过程的影响主要体现在城市的快速发展、交通设施大量的建设。50 年来, 八门湾红树林湿地各地类之间的转化主要表现为红树林面积转化成养殖水面, 林地和耕地面积转化为建筑用地, 由此可见, 人类活动能力的增强以及影响范围的不断扩大是引发八门湾红树林湿地景观破碎化的主要原因。

关键词:八门湾; 红树林; 土地利用/覆被; 景观破碎化; 相关性分析

Dynamic analysis of landscape changes in Bamen port and the surrounding lands of Hainan Province from 1964 to 2015

XU Xiaoran, XIE Genzong*, QIU Penghua

College of Geography and Environmental science of Hainan Normal University, HaiKou 570000, China

Abstract: This paper took mangrove wetland of Bamen port in Wenchang of Hainan Province as the area of research. Six period remote sensing images, including the 50-year period (1964, 1972, 1988, 2000, 2009, 2015), were used as the main data source to establish the regional landscape database and analyze the landscape dynamic changes of the study area, using a land transfer matrix and 10 kinds of relevant landscape indices. The results showed that (1) the built-up and surface areas of the raising water in Bamen port increased by 7.72 and 12.55%, respectively, from 1964—2015. At the same time, the proportions of the cultivated, forest, and mangrove areas decreased by 7.01, 9.16, and 9.74%,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41361090)

收稿日期: 2017-10-26; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 393058441@qq.com

respectively. (2) The number of plaques in the study area increased to 685, the average patch area was reduced by 39.12%, the degree of polymerization decreased by 3.5%, the largest patch area decreased by 28.38%, and the CONTAG decreased by 9.26% from 1964 to 2015. During the same period, the mean patch-shape fragmentation index and area-weighted average patch-shape fragmentation index increased by 0.0148 and 0.0207, respectively, and the plaque density increased from $0.0653/\text{hm}^2$ in 1964 to $0.1073/\text{hm}^2$ in 2015. (3) The relationship between the land use/cover changes and their surrounding lands and landscape fragmentation in Bamen port mangrove wetland was mainly reflected in the influences of aquaculture water surface and construction land area on the study-area landscape fragmentation index. The influences of the changes of aquaculture water surface and construction land area on the landscape fragmentation process were mainly reflected in the degree of polymerization, number of plaques, and role of CONTAG. Among them, the influences of the changes in aquaculture water surface area on landscape fragmentation were mainly reflected in the encroachment of mangrove area. As a result, the proportion of the mangrove area accounting for the total research area decreased from 15 to 5.25%, and the mangrove forest showed a transformation from the large-area continuous concentration to the small-area isolated distribution. The influences of the changes in construction land area on landscape fragmentation were mainly reflected in the rapid development of the city and transportation facilities. The transformation of various types of mangrove swamps in Bamen port mainly embodied on that the mangrove areas were transformed into the aquaculture water, and the building area was converted from the woodland and cultivated land in the past 50 years. Thus, the primary reason for the fragmentation of mangrove wetland in Bamen port was the enhancement of human activity and the expanding scope of its influence.

Key Words: Bamen port; mangrove wetland; land use/land cover change; landscape fragmentation; correlation analysis

土地利用/覆被变化(LUCC)是全球环境变化的关键因子^[1-2],也是人类活动作用于自然环境的最直接的表现形式^[3],能够通过改变湿地景观组成,转变景观中的物质循环和能量流动方式,使得景观要素之间的生态过程发生变化,从而影响湿地景观格局和功能^[4]。因此,景观格局的变化是土地利用变化最直接的体现^[5]。目前国内对景观格局变化的分析主要是两个方面:一是利用土地利用转移矩阵分析景观面积的变化,类型的转移以及利用相关的景观指数进行分析;如王涛^[6]等,1998—2014年阿克苏河流域耕地景观时空变化的研究。刘世梁^[7]等,广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测。祝明霞^[8]等,基于LUCC的潘阳湖湿地生态效应分析。王海军^[9]等,岷江流域三江交汇区景观格局变化研究。二是利用空间模型,例如马尔科夫模型、CA模型等模拟景观的变化。如吕娜^[10]等,基于CA-Markov模型的巴里坤湖流域土地利用动态变化分析与预测。顾刘阳^[11]等,基于遥感与CA-Markov模型的土地利用景观格局模拟及其驱动力研究。张启斌^[12]等,磴口县景观格局AES-LPI-CA模型演化模拟。

利用转移矩阵及相关景观指数分析湿地景观格局变化是目前国内研究的热点之一,如陈奇亮^[13]等,利用转移矩阵、马尔科夫模型研究闽江河口湿地自然保护区土地景观演变情况,同时利用相关景观指数对闽江河口湿地自然保护区的景观格局变化和驱动力进行研究和分析。丁彤彤^[14]等,以多时相Landsat影像为数据源,在GIS支持下,对东营市湿地景观土地利用的时空变化进行了分析。宋诗园^[15]等,利用土地利用转移矩阵,景观破碎度、湿地分形维数等景观指数分析了乌江流域(重庆段)的景观格局变化。分析土地利用/覆被变化和相关指数的变化能够直观的展现湿地景观格局变化的过程,从而对湿地生态保护上有着重大的意义。

八门湾地处海南省文昌市东南部,是海南的第二大渔港,同时八门湾也是我国红树植物种类最多的地方,其红树林的种类占目前全世界红树林品种八十一种的40%。八门湾红树林湿地不仅具有众多宝贵的红树林种类资源,同时也在抵御风浪中起到了重要的作用。然而,由于文昌市的快速发展,人类活动的越加剧烈,使得八门湾红树林湿地土地利用/覆被变化显著。受此影响,红树林面积逐年减少,八门湾红树林湿地生态状况日益恶化,湿地景观破碎化现象越加明显。

目前,国内对八门湾红树林湿地及其周边土地景观格局变化的研究尚少,且主要集中于土地利用变化及

驱动力分析和 CA_Markov 模型模拟预测。如吴季秋^[16]等,利用 CA_Markov 模型对八门湾红树林湿地 2020 年土地利用变化趋势进行了预测和模拟。吴季秋^[17]等,以 RS 和 GIS 技术手段,提取了 1988、1998、2009 年的土地利用/覆被空间格局信息,研究其土地利用变化动态,并分析了自然驱动因素和社会经济驱动因素的作用。朱耀军^[18]等,以 1987、2000、2010 年 3 个时相的影像为数据源,对八门湾红树林湿地的红树林景观面积的变化及其变化的驱动力进行了分析,同时,对红树林周边土地景观类型的土地利用/覆被变化进行了分析。从景观生态学的角度分析,土地利用/覆被变化对景观格局的影响主要表现在景观的破碎化^[19]。将土地利用/覆被变化与湿地景观破碎化联系起来,分析土地利用/覆被变化与景观破碎化的相关性,在湿地生态保护上具有重大意义。然而,在八门湾红树林湿地景观格局变化的研究中,尚未见到相关文章。

本文在定量分析八门湾红树林湿地及其周边土地土地利用/覆盖的基础上,选择斑块数量(NP)、斑块面积(CA)、斑块平均面积(MPS)、斑块密度(PD)、聚合度(AI)、斑块平均形状破碎化指数/面积加权平均形状破碎化指数(FS_1/FS_2)、蔓延度指数(CONTAG)反映景观破碎化过程,并分析土地利用/覆被变化与景观破碎化过程的相关性。因此,在对景观格局演变分析时,利用土地利用/覆盖变化与景观破碎化过程指数相关分析的方式进行定量分析得到的结果会更有意义。本文主要对八门湾红树林湿地景观破碎化过程进行定量的深入分析,希望为八门湾红树林湿地资源的保护和利用提供理论参考。

1 研究区概况及其分析系统

1.1 研究区域概况

研究区域是海南省文昌市八门湾海岸线向外缓冲 2km 的区域,地理坐标为 110°44'—110°55'E, 19°31'—19°40'N (图 1)。八门港湾位于文昌市的东南部。北部有文昌江、文教河等 8 条河流汇入湾内,港内风浪小,回淤较少,属于瀉湖—河口湿地生境。属于热带海洋性季风气候,平均气温 23.2℃,年均降水量 2000mm。该地区有常规的全日潮,潮间带较宽,最高潮位 2.38m,最低潮位 0.01m,平均潮差 0.75m^[18]。八门湾红树林保护区于 1981 年批建,现为省级自然保护区,同时也是文昌市重点建设的自然旅游景区。几十年来,随着文昌市的快速发展,八门湾红树林保护区的人为干扰程度不断的增强,近几年,有媒体报道八门湾红树林遭到了严重的破坏,从景观生态学的角度对八门湾红树林湿地动态变化的驱动力进行分析对八门湾红树林生态保护有着重要的意义。

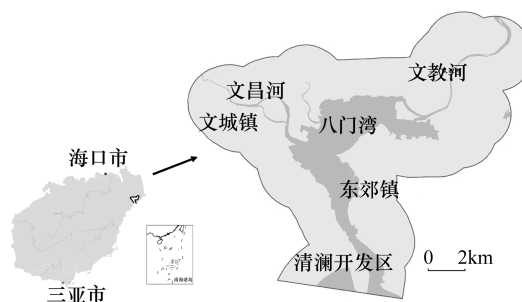


图 1 研究区域图

Fig.1 Research area diagram

1.2 分类方法

1.2.1 数据来源

采用数据包括:研究区域 1964 年、1972 年、1988 年、2000 年、2009 年、2015 年 6 期同/近时相的遥感影像(表 1),Google 地图及 2015 年实地调查资料。在 ERDAS IMAGINE 软件中对 6 期影像进行大气辐射校正并基于 Google 地图对卫星影像进行几何校正,误差控制在 0.5 个像元内。在 ArcGIS 10.0 软件支持下,参考当地历史文献以及地形图进行人机交互目视解译,并结合 GPS 验证点和 Google earth 历年验证点,进行实地验证、校对、修正,从而确保解译精度。

1.2.2 影像分类系统

根据全国《土地利用现状调查技术规程》以及《中国湿地调查大纲》并且在借鉴前人对八门湾红树林湿地的研究成果的基础上^[16-18],结合实际研究需求,本着异质性与均质性相结合、景观功能与生态功能相一致的原则,将研究区域分为 6 类,分别是养殖水面、水域、建筑用地、红树林、林地、耕田(表 2),最终分类的结果见图 2。

表 1 八门湾红树林湿地影像介绍

Table 1 Introduction of images of BaMen harbour mangrove wetland					
年份 Years	卫星影像 Satellite Imagery	分辨率/m Resolution	年份 Years	卫星影像 Satellite Imagery	分辨率/m Resolution
1964 年 6 月 June 1964	锁眼 (keyHole)	10	2000 年 8 月 August 2000	Landsat TM	30
1972 年 7 月 July 1972	Landsat TM	30	2009 年 6 月 June 2009	ALOS 影像	2.5
1988 年 6 月 June 1988	Landsat TM	30	2015 年 7 月 July 2015	资源三号影像	2.1

表 2 八门港湾湾湿地景观分类系统

Table 2 Wetland landscape classification system of BaMen harbour	
景观类型 Landscape type	景观类型说明 Description of landscape type
水域 Water area	以相对稳定的陆地为边界的天然水域,包括江水、河水、湖泊、海水、水库
耕地 Arableland	农业生产的用地,包括水田、旱田
养殖水面 Aquiculture area	人工养殖的池塘
林地 Woodland	包括草地、森林、果园的陆生植物
红树林 Mangrove	生长在海岸潮间带上部,受周期性潮水侵淹的湿地木本植物
建筑用地 Construction land	人们生产生活的建筑群

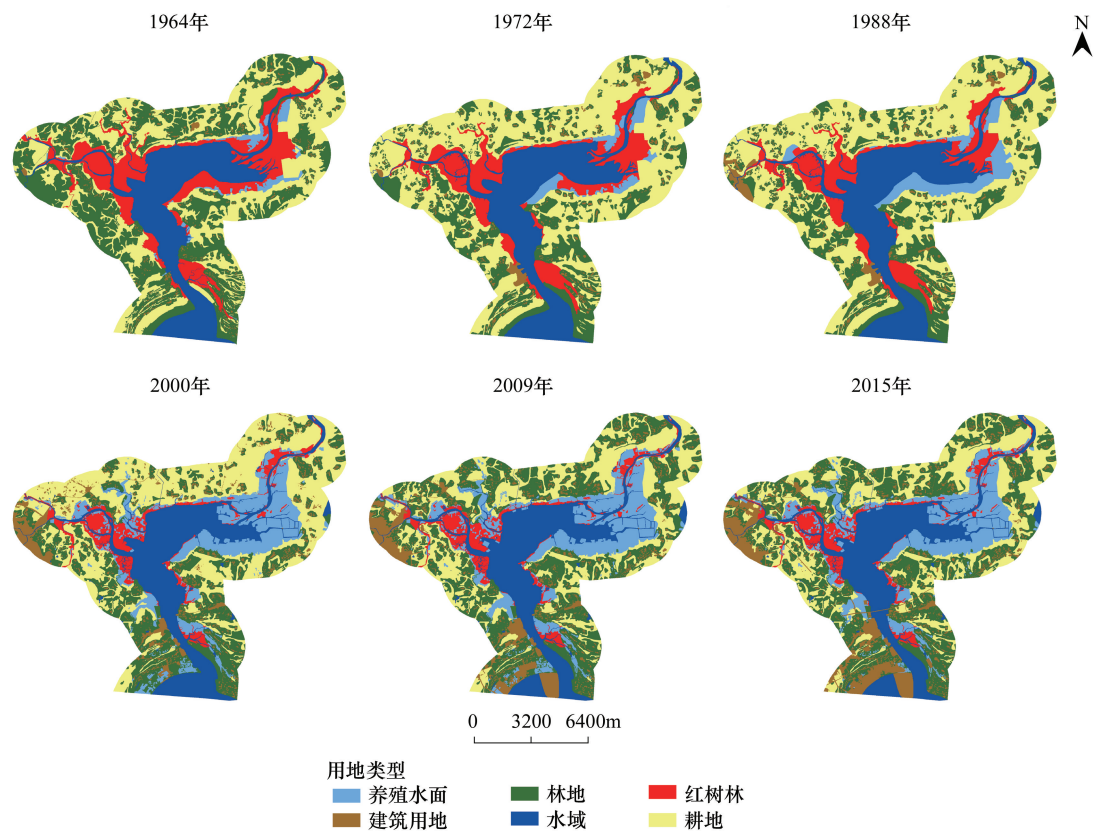


图 2 分类结果图

Fig.2 Classification result chart

2 研究方法

在参考国内外相关文献结合实地调研的基础上,选择斑块数量(NP)、斑块面积(CA)、斑块平均面积(MPS)、斑块密度(PD)、聚合度(AI)、斑块平均形状破碎化指数/面积加权平均形状破碎化指数(FS_1/FS_2)、

蔓延度指数 (CONTAG) (表 3) 反映景观破碎化过程, 选择土地利用转移矩阵反映研究区域土地类型面积的变化、类型的转移, 在此基础上将土地利用/覆被变化与景观破碎化过程相结合做相关性分析, 揭示土地利用/覆被变化对八门湾红树林湿地景观破碎化的影响。

表 3 景观指数
Table 3 Landscape Index

景观指数类型 Landscape index type	计算公式 Computational formula	景观指数说明 Description of the landscape index
斑块个数 (NP) ^[20] Number of plaques	$NP = N$	景观中所有的斑块数或某一类景观的斑块数
斑块类型面积 (CA) ^[21] Class area	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij}$	CA 度量的是景观的组分, 是计算对许多其他类型和景观指数的基础
斑块密度 (PD) ^[22] Patch density	$PN = \frac{n_i}{A} (10000) (100)$	斑块密度表达的是单位面积上的斑块数, 有利于不同大小景观间的比较
斑块平均面积 (MPS) ^[23] Mean patch area	$MPS = \frac{A_i}{N_i}$	反映斑块的平均大小
聚合度 (AI) ^[24] Aggregation index	$AI = \left[\begin{matrix} g_{ii} \\ \max \rightarrow g_{ii} \end{matrix} \right] (100)$	AI 基于同类型斑块像元间公共边界长度来计算。当某类型中所有像元间不存在公共边界时, 该类型的聚合程度最低; 而当类型中所有像元间存在的公共边界达到最大值时, 具有最大的聚合指数
斑块平均形状破碎化指数 (FS ₁) ^[25] Mean shape fragmentation index	$FS_1 = 1 - \frac{1}{MSI}$	表现地块形状特征, 其中 MSI 代表斑块平均形状指数, MSI 的取值 ≥ 1, 无上限 (当景观中所有斑块均为正方形时, MSI = 1; 当斑块的形状偏离正方形时, MSI 逐渐增大);
面积加权平均形状破碎化指数 (FS ₂) ^[25] Area-weighted mean shape fragmentation index	$FS_2 = 1 - \frac{1}{ASI}$	表现地块形状特征, 其中 ASI 代表面积加权的平均形状指数, 是度量景观空间格局复杂性的重要指标, 并对许多生态过程都有影响, 随斑块形状的不规则性增加而增加, ASI ≥ 1;
蔓延度 (CONTAG) ^[26] Contagion index	$CONTAG = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \left[\ln(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] (100)$	CONTAG 可描述景观里斑块类型的团聚程度或延展趋势, 包含了空间信息。CONTAG 较大, 表明景观中的优势斑块类型形成了良好的连接; 反之, 则表明景观是具有多种要素的散布格局, 景观的破碎化程度较高

3 结果与分析

3.1 八门湾红树林湿地土地利用覆盖变化

由图 3 可知, 研究区域内耕地、林地、湿地是最主要的覆被类型, 土地利用/覆被变化特征主要体现在这几类上。在湿地的构成中, 红树林和养殖水面是面积变化的主要类型, 在 50 年内, 红树林面积占总面积的 15% 下降到 5.25%, 养殖水面面积占总面积的 2.07% 上升到 14.62%。通过土地转移矩阵 (表 4) 可知, 1964—2015 年间, 红树林面积共减少 1594.98 hm², 其中转化成养殖水面的面积为 1415.51 hm², 因此, 红树林和养殖水面的变化可以反映出研究区域内湿地的变化动态。

由表 4 土地利用转移矩阵可知, 1964—1988 年间, 大面积的林地转化成耕地, 直接导致耕地面积比例从 29.97% 上升到 39.06%, 直到 2000 年政府实施退耕还林政策后, 在 2000—2015 年政府的强行介入下, 耕地面积比例下降了 16.1%, 同时林地面积比例上升了 7.68%。在 1964—2015 年近 50 年内, 建筑用地的面积持续增长, 面积比例从 2% 上升到 2015 年的 10.6%, 与此同时, 红树林的面积比例从 1964 年的 15% 下降到 2015 年的

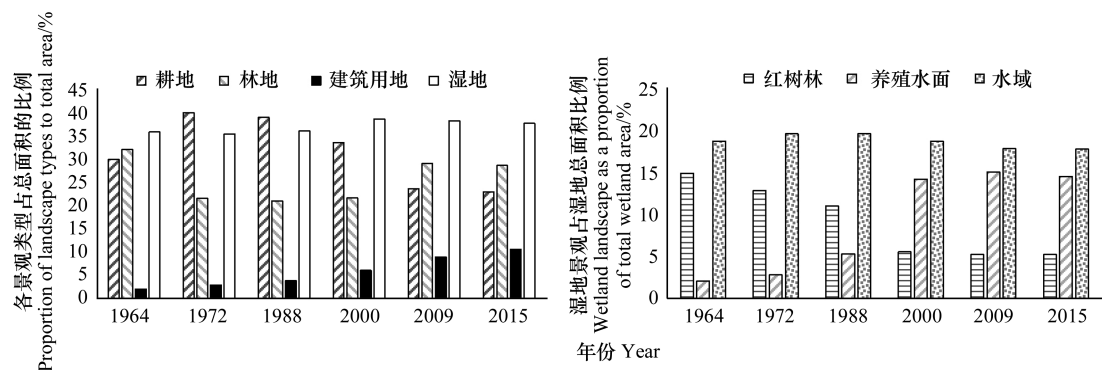


图 3 1964—2015 年八门湾红树林湿地各景观类型面积占总面积比例变化图

Fig.3 The change of the proportion of the landscape types to the total area in BaMen harbour mangrove wetland

5.25%,养殖水面的面积比例从 1964 年的 2.07%上升到 2015 年的 14.62%,建筑用地的面积主要是由林地和耕地面积转化而来,红树林的面积主要是转化成养殖水面。

表 4 1964 年—2015 年八门湾红树林湿地景观转移矩阵

Table 4 The landscape transition matrix of Mangrove Wetland in Bamen port in 1964—2015

面积 Area/hm ²		1972 年				
		红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	耕地 Arableland	林地 Woodland	水域 Water area
1964 年	红树林 Mangrove	—	5.55	160.44	27.85	198.87
	建筑用地 Construction land	0.96	—	28.61	106.76	0.41
	耕地 Arableland	40.23	15.66	—	432.75	11.91
	林地 Woodland	75.10	255.73	1971.41	—	60.28
	水域 Water area	79.17	2.45	11.39	8.27	—
	养殖水面 Aquiculture area	30.93	1.96	47.28	2.47	0.98
面积 Area/hm ²		1988 年				
		红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	耕地 Arableland	林地 Woodland	水域 Water area
1972 年	红树林 Mangrove	—	—	1.06	1.95	—
	建筑用地 Construction land	—	—	—	—	—
	耕地 Arableland	—	55.72	—	26.68	—
	林地 Woodland	—	99.28	23.17	—	—
	水域 Water area	—	—	—	—	—
	养殖水面 Aquiculture area	—	—	—	—	—
面积 Area/hm ²		2000 年				
		红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	耕地 Arableland	林地 Woodland	水域 Water area
1988 年	红树林 Mangrove	—	28.58	64.01	81.61	160.51
	建筑用地 Construction land	0.16	—	22.83	257.41	3.15
	耕地 Arableland	73.80	300.78	—	1016.26	44.57
	林地 Woodland	19.04	381.31	721.16	—	62.80
	水域 Water area	98.94	34.83	13.40	55.15	—
	养殖水面 Aquiculture area	28.84	0.68	25.99	3.74	45.24

续表

		2009 年					
面积 Area/hm ²		红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	耕地 Arableland	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
2000 年	红树林 Mangrove	—	3.49			1.50	47.23
	建筑用地 Construction land		—		1.08		
	耕地 Arableland		45.45	—	1404.63	2.23	75.14
	林地 Woodland		173.38	3.23	—	13.80	26.41
	水域 Water area		130.27	2.23		—	31.27
	养殖水面 Aquiculture area		39.56		1.88		—
		2015 年					
面积 Area/hm ²		红树林 Mangrove	建筑用地 Construction land	耕地 Arableland	林地 Woodland	水域 Water area	养殖水面 Aquiculture area
2009 年	红树林 Mangrove	—					
	建筑用地 Construction land		—		0.72		
	耕地 Arableland		95.94	—	5.80	2.23	23.26
	林地 Woodland		79.53	4.50	—	0.49	6.56
	水域 Water area		9.41	2.23		—	
	养殖水面 Aquiculture area		95.16	0.55	17.25		—

3.2 八门湾红树林湿地景观破碎化过程

计算 1964—2015 年间各个时期的八门湾红树林湿地的景观破碎化指数并进行空间统计以表示八门湾红树林湿地破碎化的过程(图 4)。分析可知,1964—2015 年间,八门湾红树林湿地的平均斑块面积总体呈现缩减的趋势,其缩减的幅度达 39.12%,且在 1972—2000 年间缩减的幅度最为明显。湿地的斑块数量、斑块平均形状破碎化指数、面积加权斑块平均形状破碎化指数总体呈现增加的趋势,其中,斑块数量增长幅度高达 64.02%,斑块平均形状破碎化指数、面积加权斑块平均破碎化指数由 1964 年的 0.3260、0.8234 增长到 2015 年的 0.3408、0.8441。

分析斑块空间水平指数可知,在 50 年间,研究区域内斑块密度由 1964 年的 0.0653 个/hm²增长到 2015 年的 0.1073 个/hm²。同时,研究区域内最大斑块面积由 1964 年的 3068.19hm²缩减到 2015 年的 2197.35hm²,缩减幅度达 28.38%,说明研究区域斑块破碎化逐渐加深。从斑块空间连通性、聚集度上分析可知,研究区域内聚合度从 1964 年的 90.03%下降到 2015 年的 86.53%,说明研究区域内板块的联系整体趋向于分散化。与此同时,研究区域的蔓延度由 1964 年的 47.71%下降到 2015 年 38.45%,说明研究区域内斑块的连通性在逐渐降低。

所有的指数的变化表明,八门湾红树林湿地由大面积斑块占主导,空间连续分布趋向于整体破碎化。1972—2015 年间,研究区域内景观破碎化的程度持续增加,由此可见,研究区域景观破碎化是其景观格局变动的主要表现。

3.3 八门湾红树林湿地的土地利用/覆被变化对景观破碎化过程的影响

不合理的土地利用会很大程度上破坏区域景观结构的完整性^[26],从而会引起生物多样性的减少,导致生境的退化、破碎化、边缘化。通过计算各土地利用类型与保护区湿地景观破碎化指数的相关系数可以构建其他土地利用/覆被变化与湿地景观破碎化间的相互关系^[27]。依据前人的研究以及参考相关文献^[16-19,23],本文选择使用研究区域景观破碎化的指数与土地利用类型面积进行相关分析。

将八门湾红树林湿地景观破碎化指数与各景观类型面积变化做相关性分析可知(表 5),红树林、养殖水面、建筑用地与大部分研究区域景观破碎化指数的相关系数达到了显著相关水平。其中,养殖水面、建筑用地主要是依靠人类活动影响的土地类型,对研究区域内景观破碎化过程的影响是非常大的。对红树林、养殖水

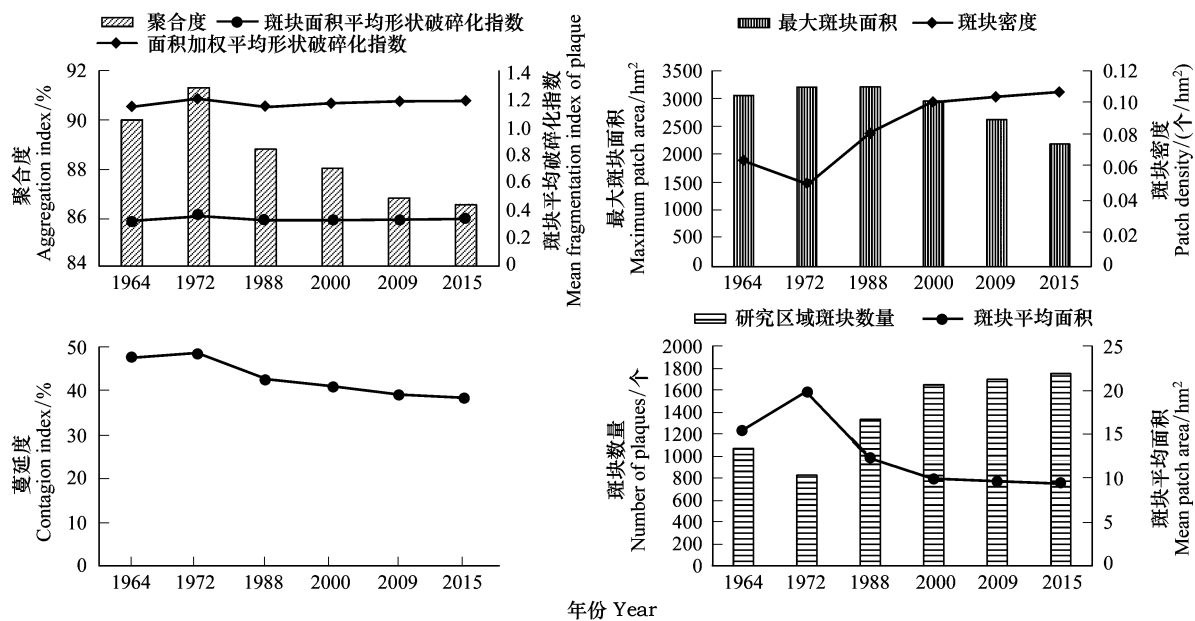


图 4 八门湾红树林湿地景观指数变化

Fig.4 The landscape index change in BaMen harbour mangrove wetland

面、建筑用地面积的变化比例图分析可知,养殖水面在 1964—2000 年间处于快速扩张的阶段,分布范围集中在八门湾北部沿岸、文昌河与八门湾交汇处、文教河与八门湾交汇处这 3 个区域,而这 3 个区域也是红树林生长的区域,由土地利用转移矩阵可知,养殖水面主要是侵占红树林的面积,使得红树林的面积由 1964 年的 2456.28hm²下降到 2000 年的 912.69hm²,从而导致红树林面积由大斑块连续集中分布趋向于小斑块孤立分散分布。与此同时,建筑用地分布范围逐渐扩张,从 1964 年建筑用地主要集中在文城镇到 2015 年间建筑用地已经扩张到文城镇、文教镇、东阁镇、东郊镇、清澜港的区域内,建筑用地、养殖水面不规则、大范围快速的扩张以及红树林面积的减少导致 1964—2015 年间斑块平均面积迅速减少,斑块密度、斑块间距大幅增加,从而使研究区域内的斑块间的聚合度、连通性呈现降低的趋势。

表 5 八门湾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 5 The Correlation coefficient between landscape fragmentation index and landscape type area change in BaMen harbour mangrove wetland

景观指数 Landscape index	耕地 Arableland	林地 Woodland	红树林 Mangrove	养殖水面 Aquiculture area	建筑用地 Construction land	水域 Water area
平均斑块面积 Mean patch area	0.656	-0.193	0.845 *	-0.869 *	-0.784	0.707
斑块平均形状破碎化指数 Mean shape fragmentation index	0.234	-0.296	0.068	-0.142	0.04	0.203
面积加权的平均形状破碎化指数 Area-weighted mean shape fragmentation index	-0.475	0.09	-0.66	0.667	0.647	-0.581
聚合度 Aggregation index	0.777	-0.291	0.888 *	-0.91 *	-0.915 *	0.820 *
斑块数量 Number of plaques	-0.793	0.302	-0.926 **	0.967 **	0.888 *	-0.871 *
蔓延度 Contagion index	0.652	-0.102	0.93 **	-0.927 **	-0.909 *	0.715

注: * 与 ** 分别代表显著相关水平 0.05 与 0.01

对研究区域各景观破碎化指数的时空变化分析可知(图 5),八门湾红树林湿地在 1972—2015 年间研究区域内斑块平均面积持续下降了 52.81%,聚合度持续下降了 4.83%,斑块数量持续增长 111.96%,斑块平均形状破碎化指数和面积加权平均形状破碎化指数均呈现上升的趋势,研究区域的景观破碎化现象逐渐加深,而对应研究区域景观破碎化过程,建筑用地的面积比重持续增加了 7.72%。

结合研究区域内各景观之间的相互联系和影响分析可知,1972—2000 年间是养殖水面面积快速增长,红树林面积快速减少,建筑用地面积持续增长的阶段,而此阶段也是八门湾红树林湿地景观破碎化过程最为明显的阶段。2000—2015 年间,红树林、养殖水面面积变化不大,但是建筑用地的面积持续增长,而此时的八门湾红树林湿地景观破碎化仍在持续但速率变慢。由此可见,红树林、养殖水面、建筑用地面积的变化对八门湾红树林湿地景观破碎化过程的响应是最积极的。

由土地利用转移矩阵可知,养殖水面的面积主要是由红树林面积转化而来,因此红树林面积与养殖水面的面积变化是息息相关的。养殖水面对八门湾红树林湿地景观破碎化过程的响应主要有两点:一是养殖水面完全受人类活动的影响,其增长的区域集中在八门湾沿岸,占据红树林的面积与水域的面积,并且养殖水面的面积增长无规律性。二是养殖水面面积的增长,使得红树林的面积由大斑块连续集中分布趋向于小斑块孤立分散分布,从而影响八门湾红树林湿地的景观格局,使得八门湾红树林湿地景观趋向于破碎化。

由于研究区域地处文昌市城区,城市的发展会直接影响研究区域与景观格局的变化。在 1964—2015 年 50 年内,建筑用地面积增长了 1408.86hm^2 ,平均每年有 28.18hm^2 变为建筑用地。研究表明,交通设施的建设是导致生境景观破碎化的主要原因^[28-30]。在快速推进的城市化进程中,城市交通干道建设的廊道效应,使得道路周围的土地逐渐向城市用地转化,并使得自然廊道不断受到人工廊道的排挤而发生变形、破损甚至完全消失,从而使得生境景观逐渐破碎化^[31-32]。在研究区域内,滨湾路、苑东路、航天大道、清澜大桥等交通设施的建设,将研究区域分割成多个独立区域,这必然会导致研究区域内各景观类型趋向于分散化,斑块形状趋于不规则化,研究区域景观破碎化过程也就此展开。

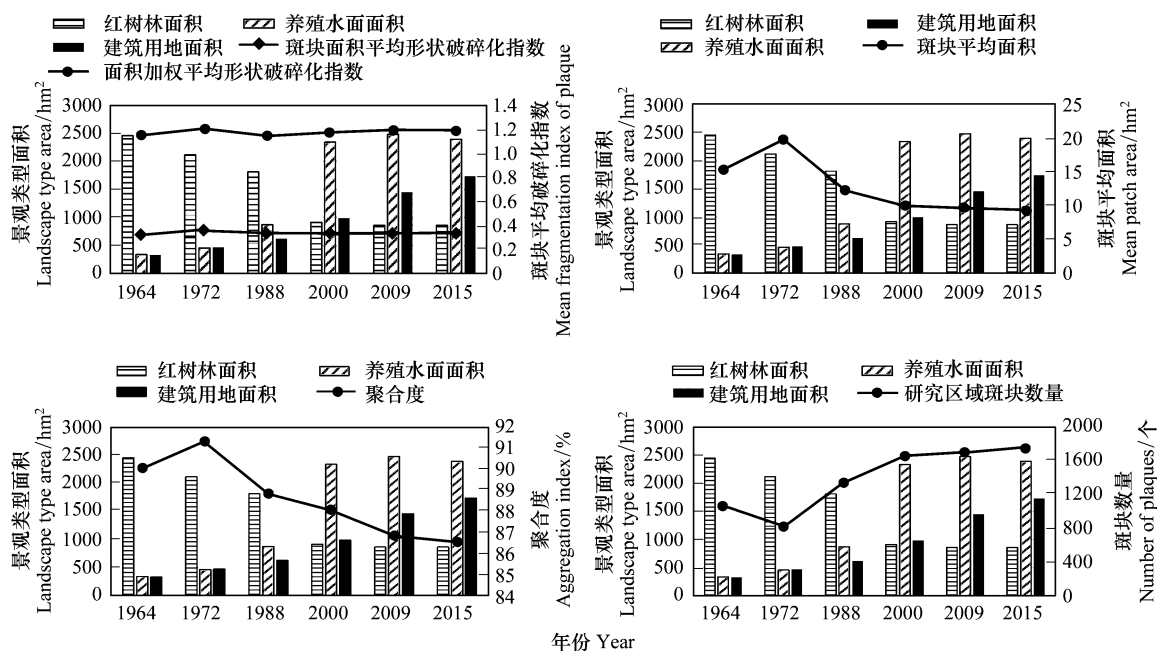


图 5 1964—2015 年间八门湾红树林湿地各景观破碎化指数对养殖水面、红树林、建筑用地变化的响应

Fig.5 The response of landscape fragmentation index to the change of aquaculture water surface, mangroves and construction land of BaMen harbour mangrove wetland in 1964—2015

4 结论与讨论

(1) 1964—2015 年间,八门湾红树林湿地土地利用/覆被发生了较大的变化。研究区域内建筑用地、养殖水面面积呈现增长的趋势,所占比重分别上升了 7.72%、12.55%,耕地、林地、红树林面积所占比重分别下降了 7.01%、9.16%、9.74%。耕地、林地面积主要转化成建筑用地的面积,红树林的面积主要转化成养殖水面的面积。

(2) 八门湾红树林湿地由大面积斑块占主导、空间连续分布趋向于破碎化。1964—2015 年间, 研究区域内斑块数量增加了 685 个, 平均斑块面积缩减了 39.12%, 聚合度下降了 3.5%, 最大斑块面积缩减了 28.38%, 斑块密度从 1964 年的 0.0653 个/hm² 上升到 2015 年的 0.1073 个/hm², 蔓延度下降了 9.26%, 斑块平均形状破碎化指数和面积加权平均形状破碎化指数分别上升了 0.0148、0.0207。

(3) 八门湾红树林湿地土地利用/覆被变化与景观破碎化过程的相关关系主要体现在养殖水面、建筑用地面积变化对研究区域景观破碎化指数的影响上。养殖水面、建筑用地面积变化对研究区域景观破碎化过程的影响主要体现在聚合度、斑块数量、蔓延度的作用上。其中, 养殖水面面积变化对研究区域景观破碎化过程的影响主要体现在其对红树林面积的侵占, 使得红树林面积占研究区域总面积的比例由 15% 下降到 5.25%, 红树林由大面积连续集中分布趋向于小面积孤立分散分布。建筑用地面积变化对研究区域景观破碎化过程的影响主要体现在城市的快速发展、交通设施大量的建设。

2000 年前, 八门湾红树林湿地的红树林主要是受过度捕捞和浅海渔业资源的影响, 造成红树林面积的大量减少。2000 年后红树林主要是受文昌市快速城市化的影响, 包括城市扩张、城市交通建设对红树林周边环境的切割使得自然廊道不断破损, 周边环境的能量流动以及物质循环受到了严重影响, 从而对红树林的生长环境带来了消极作用; 城市污水、工农业污水同样使红树林生长的水环境遭到破坏主要原因是富营养化和重金属的影响^[33-35], 对红树林的自我恢复能力进行了阻碍。并且, 2009 年国务院发布的《关于推进海南国际旅游岛建设发展的若干意见》以来, 八门湾红树林湿地旅游开发速度激增, 使得其与红树林保护的矛盾日益突出。

参考文献 (References):

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] Hao H M, Ren Z Y. Land use/land cover change (LUCC) and eco-environment response to LUCC in farming-pastoral zone, China. *Agricultural Sciences in China*, 2009, 8(1): 91-97.
- [3] 成遣, 周林飞, 谭艳芳. 辽宁省凌河口湿地景观格局动态演变及景观破碎化分析. *中国农村水利水电*, 2012, (3): 44-48.
- [4] 孙贤斌, 刘红玉, 傅先兰. 土地利用变化对盐城自然保护区湿地景观的影响. *资源科学*, 2010, 32(9): 1741-1745.
- [5] 李玉辉, 朱泽云, 丁智强, 杨民英. 云南石林巴江河岸土地利用/土地覆被结构变化研究. *水土保持研究*, 2017, 24(5): 279-284.
- [6] 王涛, 张超. 1998—2014 年阿克苏河流域耕地景观时空变化研究. *西南林业大学学报*, 2017, 37(2): 171-178.
- [7] 刘世梁, 安南南, 尹艺洁, 成方妍, 董世魁. 广西北海区域景观格局分析及土地利用变化预测. *生态学报*, 2017, 37(18): 5915-5923.
- [8] 祝明霞, 喻光明, 赵军凯. 基于 LUCC 的鄱阳湖湿地生态效应分析. *水生态学杂志*, 2017, 38(3): 8-14.
- [9] 王海军, 武克军, 孔祥冬, 张勃. 岷江流域三江交汇区景观格局变化研究. *中国环境管理*, 2017, 9(3): 95-102.
- [10] 吕娜, 李政海, 鲍雅静, 李卓玲, 张靖, 刘丽, 刘翀, 徐媛, 谭嫣辞, 宫晓双. 基于 CA-Markov 模型的巴里坤湖流域土地利用动态变化分析与预测. *天津农业科学*, 2017, 23(7): 63-65, 88-88.
- [11] 顾刘阳, 张永福, 朱小强, 赵坤城, 郭家新. 基于遥感与 CA-Markov 模型的土地利用景观格局模拟及其驱动力研究. *黑龙江大学学报*, 2017, 8(2): 14-20, 30-30.
- [12] 张启斌, 岳德鹏, 于强, 李宁, 宁立新, 尹波. 磴口县景观格局 AES-LPI-CA 模型演化模拟. *农业机械学报*, 2017, 48(5): 128-134.
- [13] 陈奇亮. 闽江河口湿地自然保护区及其周边景观动态变化及预测研究. *环境科学与管理*, 2017, 42(4): 166-170, 181-181.
- [14] 丁彤彤, 周廷刚, 朱晓波, 杨俨. 基于卫星遥感影像的黄河三角洲湿地景观格局动态变化研究——以东营市为例. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2016, 41(4): 52-57.
- [15] 宋诗园, 曾波, 周廷刚, 关舒婧. 基于 RS 和 GIS 的乌江流域(重庆段)湿地景观动态分析. *中国水土保持科学*, 2017, 15(1): 81-88.
- [16] 吴季秋, 俞花美, 肖明, 葛成军, 唐文浩. 基于 CA-Markov 模型的海湾土地利用动态预测. *环境工程技术学报*, 2012, 2(6): 531-539.
- [17] 吴季秋, 俞花美, 葛成军, 肖明, 唐文浩. 基于 RS 与 GIS 的海湾土地利用/覆盖及驱动机制研究. *海南师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 25(2): 206-211.
- [18] 朱耀军, 郭志华, 郭菊兰, 武高洁, 吕烈标, 李文泉. 清澜港湾红树林景观变化过程及周边土地利用/覆盖动态. *林业科学*, 2013, 49(5): 169-175.

- [19] 刘红玉, 李兆富. 周边区域湿地景观变化对洪河保护区涉禽栖息地的影响. 生态学报, 2008, 28(10): 5011-5019.
- [20] 张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 阿多. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制. 生态学报, 2016, 36(15): 4780-4791.
- [21] 孙万龙, 孙志高, 田莉萍, 胡星云. 黄河三角洲潮间带不同类型湿地景观格局变化与趋势预测. 生态学报, 2017, 37(1): 215-225.
- [22] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 杨青. 三江平原流域湿地景观破碎化过程研究. 应用生态学报, 2005, 16(2): 289-295.
- [23] 赵锐锋, 姜朋辉, 赵海莉, 谢作轮, 金建玲. 土地利用/覆被变化对张掖黑河湿地国家级自然保护区景观破碎化的影响. 自然资源学报, 2013, 28(4): 583-595.
- [24] 赵锐锋, 姜朋辉, 赵海莉, 樊洁平. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析. 生态学报, 2013, 33(14): 4436-4449.
- [25] 张彦儒, 蒙古军, 周婷. 鄂尔多斯 1988-2000 年景观结构和功能动态分析. 干旱区资源与环境, 2009, 23(5): 49-55.
- [26] Angeler D G, Viedma O, Sánchez-Carrillo S, Alvarez-Cobelas M. Conservation issues of temporary wetland Branchiopoda (Anostraca, Notostraca: Crustacea) in a semiarid agricultural landscape: what spatial scales are relevant? Biological Conservation, 2008, 141(5): 1224-1234.
- [27] 魏智, 金会军, 蓝永超, 胡兴林, 吴锦奎, 杨思忠, 吉延峻. 黑河实施分水后中游灌区地下水资源量的变化分析. 冰川冻土, 2008, 30(2): 344-350.
- [28] Serrano M, Sanz L, Puig J, Pons J. Landscape fragmentation caused by the transport network in Navarra (Spain): two-scale analysis and landscape integration assessment. Landscape and Urban Planning, 2002, 58(2/4): 113-123.
- [29] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C. Degree of landscape fragmentation in Switzerland: quantitative analysis 1885-2002 and implications for traffic planning and regional planning (condensed version). Neuchâtel: Federal Statistical Office, 2007:229-229.
- [30] Jaeger J A G, Schwarz-von Raumer H G, Esswein H, Müller M, Schmidt-Lüttmann M. Time series of landscape fragmentation caused by transportation infrastructure and urban development: a case study from Baden-Württemberg, Germany. Ecology and Society, 2007, 12(1): 22.
- [31] 张金屯, Pickett STA. 城市化对森林植被、土壤和景观的影响. 生态学报, 1999, 19(5): 654-658.
- [32] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例. 生态学报, 1999, 19(2): 145-150.
- [33] 谭凌智, 祁士华, 傅杨荣, 杨奕, 刘华峰, 张家泉, 兰兰, 胡英, 齐书蕾, 张婉珈. 海南八门湾高位池养殖区表层土壤重金属污染调查与评价. 环境化学, 2010, 29(2): 335-336.
- [34] 吴丹, 赵志忠, 季一诺, 王军广. 海南岛八门湾红树林湿地表层沉积物重金属分布特征及污染评价. 海南师范大学学报: 自然科学版, 2015, 28(4): 432-437.
- [35] 伏箫诺, 赵志忠, 吴丹, 王鸿平. 海南岛八门湾红树林沉积物重金属有效态空间分异特征. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 241-245.