

珠海市湿地景观格局演变及驱动力分析

郁林¹ 党星海¹ 纪婵² 李治斌¹ 徐晓龙²

(1. 兰州理工大学土木工程学院 兰州, 730050; 2. 珠海欧比特宇航科技股份有限公司, 广东 珠海, 519080)

摘要: 湿地生态系统是全球三大生态系统之一, 其为地球上 20% 的已知物种提供生存环境, 享有‘地球之肾’的美誉。但在城市快速发展的时代背景下, 湿地生态系统遭遇了重大威胁。本文以珠海市生态系统为研究对象, 基于 2016~2019 年 10m 分辨率的 Sentinel-2 遥感影像, 解译出珠海湿地景观空间分布格局; 运用 ArcGIS 空间分析方法与 Fragstats 计算其景观格局指数, 并分析了珠海市湿地景观格局变化及其驱动因素。结果表明: (1) 水库、坑塘是珠海市湿地景观中的优势景观地类。其中坑塘, 湖泊, 沼泽湿地的破碎度在加剧, 空间连通性较差。河流、红树林地的聚集度相对较好。(2) 珠海市湿地在 2016~2019 年间面积逐年减少, 四年总的减少量达到 1656.66hm²。其中面积减少最大的为坑塘水面和沼泽湿地, 减少量为(相应统计结果), 面积增加最大的为红树林地湿地, 增加量为 38.34hm²。(3) 坑塘和沼泽湿地的减少主要为转向非湿地, 而非湿地转向湿地的现象相对较少。(4) 导致珠海湿地景观减少的主要因素是经济的飞速发展, 人口的扩张和渔业的发展也给湿地带来了威胁。以期对珠海市湿地系统保护以及粤港澳大湾区生态系统安全提供参考。

关键词: 湿地生态系统; 景观格局; 驱动因素; 珠海市

中图分类号: P901

文献标志码: A

Analysis on the evolution and driving force of wetland landscape pattern in ZhuHai

YU Lin¹, DANG Xing-hai¹, Ji Chan², LI Zhi-bin¹, Xu Xiao-long²

(1.Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2.Zhuhai Orbita Aerospace Science&technology Co.,Ltd. Zhuhai 519080, China)

Wetland ecosystem is one of the three major ecosystems in the world. It provides the living environment for 20% of the known species on earth and enjoys the reputation of "kidney of the earth". However, under the background of rapid urban development, the wetland ecosystem has encountered a major threat. This paper takes the ecosystem of Zhuhai city as the research object, and interprets the spatial distribution pattern of zhuhai wetland landscape based on sentinel-2 remote sensing images with a resolution of 10m from 2016 to 2019. Using ArcGIS spatial analysis and Fragstats method to calculate its landscape pattern index, and analyzed the change of zhuhai wetland landscape pattern and its driving factors. The results show that : (1) reservoir and pit are the dominant landscape types in zhuhai wetland landscape. Among them, the degree of fragmentation of pits, lakes, marshes and wetlands is increasing, and the spatial connectivity is poor. The aggregation degree of river and mangrove forest was relatively good. (2) The area of Zhuhai wetland decreased year by year from 2016 to 2019, and the total decrease reached 1656.66hm² in four years. Among them, the area decreased the most for pit surface and marsh wetland, the decrease was (corresponding statistical results), and the area increased the most for mangrove woodland wetland, with an increase of 38.34hm². (3) The reduction of pit and marsh wetlands is mainly due to the diversion of non-wetland, while the phenomenon of non-wetland diversion is relatively rare. (4) The main factor leading to the reduction of wetland landscape in Zhuhai is the rapid economic development. The expansion of population and the development of fishery also threaten the wetland. In order to provide reference for the protection of zhuhai wetland system and the ecosystem security of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51968042)

Supported by: National Natural Science Foundation of China (51968042)

作者简介: 郁林 (1995-), 男, 河南信阳, 研究生, 主要从事地理信息科学及遥感监测研究。E-mail: 1615338264@qq.com

Key words: Wetland ecosystem; Landscape pattern; Driving factors; zhuhai

湿地是一种陆生生态环境与水生生态环境相结合的生态环境^[1],也最具生产力的自然环境之一,为自然生物提供复杂的生存环境^[2],在维护区域生态平衡等方面具有不可替代的作用^[3-5]。近年来,由于城市人口迅猛增加以及区域经济飞速发展,对土地利用的需求急剧增加^[6],湿地景观格局遭到严重的破坏,威胁到人们的生存环境^[7]。伴随着粤港澳大湾区发展规划的提出,对处于粤港澳大湾区中心的珠海市来说,其未来经济将会飞速发展。如不能有效的保护其湿地资源,将会对珠海市生态环境造成严重的威胁。因此我们急需开展珠海湿地景观格局分析与研究。

卫星遥感技术因其覆盖度广、重访周期短、分辨率高和实时性强等优点,已成为地类普查及湿地动态监测的重要方式^[8]。近年来,由于我国湿地景观不断遭到破坏(加文献),湿地景观的变化监测及驱动力因素分析已经成为湿地遥感监测的热门方向^[9]。Ernoul等^[10]通过对塞纳河流域漫滩的鸟类和维管植物的研究,得到生物多样性的潜在驱动因素来自过去和现在的景观格局。Debanishi等^[11]利用卫星图像结合差分水体指数(RmNNDWI)对恒河三角洲印度部分地区的湿地进行了圈定,并采用细胞自动机(CA)对湿地面积变化进行模拟分析。张莹莹等^[12]利用构建LUCC统计模型和计算湿地景观格局指数的方法研究了江汉平原洪湖湿地自然保护区1974-2017的变化,结果发现其湿地生态系统遭受到了严重破坏。毛德华等^[9]通过分析中国东北地区的湿地变化,得到气候原因与人为因素是湿地变化的重要原因。牛振国等^[13]运用遥感技术,分析了我国近30年湿地的变化,结果发现自然湿地在不断消失,非自然湿地在逐步增加,其驱动因素因湿地类型不同而有所差异。马学焱等^[14]研究了多期长江三角洲地区滨海湿地景观格局变化,并对其驱动要素进行研究。徐晓然等^[14]通过多期的遥感影像,提取海南红树林地湿地景观的变化,并进行了景观格局分析。

综上所述,目前湿地景观格局演变研究已成为湿地生态系统研究热点,国内外已有大量研究且得到了很多结论;国内学者对我国很多湿地系统进行了研究,但主要集中在长江三角洲、江汉平原等较大的区域,对珠海市等类型的沿海城市湿地景观格局研究相对较少。此外,前人研究大多基于30m分辨率的Landsat卫星影像,空间分辨率相对较粗。基于此,本文计划采用10m空间分辨率的Sentinel-2卫星影像对拥有独特的地理位置的珠海市湿地系统进行研究,首先通过四期遥感影像对珠海市湿地图斑进行精细分类;其次采用ArcGIS空间分析和Fragstats计算景观格局指数,计算珠海市湿地系统最近几年的动态变化;最后结合人口、经济、降雨、气温等因素利用统计学原理对驱动力进行分析。以期对珠海市湿地系统保护以及粤港澳大湾区生态系统安全提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

珠海市(北纬28°27'~22°27'东经113°03'~114°19')所属广东省,粤港澳大湾区九城之一,地处广东的西南位置,东侧隔海相望香港与深圳,西侧与江门市新会区相邻,南侧紧挨澳门,北侧与中山市接壤。被大湾区五个地市环抱^[6]。气候状况:受南亚热带季风候的影响,珠海市常年多雷雨天气,每年的4-9月份受东南季风侵扰,降雨量明显增多,占全年的85%,为雨季。10月份-次年3月份受东北季风影响,降雨偏少,为旱季。年平均降雨达到2000多毫米,全年相对湿度80%。珠海整体地势相对平坦,西北地区高东南沿海地区低,市内河流纵横,拥有丰富的湿地资源。境内不仅仅分布大小6条河流,同时分布着88个水库,大量坑塘,沼泽地。最近几年来,沿海城市的飞速发展,出现一系列破坏自然湿地的情况,围海造陆,自然坑塘养殖化,填库造陆,资源浪费等情况,对珠海的湿地情况造成严重威胁。展开湿地景观格局的探讨,对珠海市湿地安全保护有重要参考价值。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源及预处理

为准确提取珠海市地面湿地分布信息,选择遥感影像数据把云量控制在3%以下。为了做年份湿地景观格局对比影像数据选择不同年份的同一月份数据。综合考虑影像的质量、获取度、使用效率等情况。最终选取的遥感数据为:2016年07月29日、2017年10月11日、2018年10月02日、2019年10月4日

的 Sentinel-2 的影像数据，数据均来自欧航局获取地址 (<https://scihub.copernicus.eu/>)。

1.2.2 湿地分类方案

以《第三次全国土地调查工作分类》和《湿地公约》中湿地分类标准为基础^[17-18]，结合研究区域的当前状况，将珠海市陆域湿地分为：水田、红树林地、沼泽湿地、等 10 个类型。由于森林沼泽、灌丛沼泽、沼泽草地光谱信息较为相近，为了提高分类精度，准确分析湿地景观格局变化，统一归为沼泽湿地。

1.2.3 信息提取及精度验证

高精度样本有助于提高分类精度^[19]。样本选取时遵循：纯净、典型、代表三个特性，选取最优像元作为样本，本文的样本数据包括实地数据和 Google Earth 高分数据目视解译数据。2019 年 8 月 27 日，对研究区域进行现场踏勘，现场调研点分布如（图 1）。野外数据主要包括 GPS 精确定位、照片、无人机全景数据。室内通过计算机在 Google Earth 上进行目视解译选取样本点。为了提高精度各类地物的样本选取不低于 100 个且随机均匀分布在研究范围内。

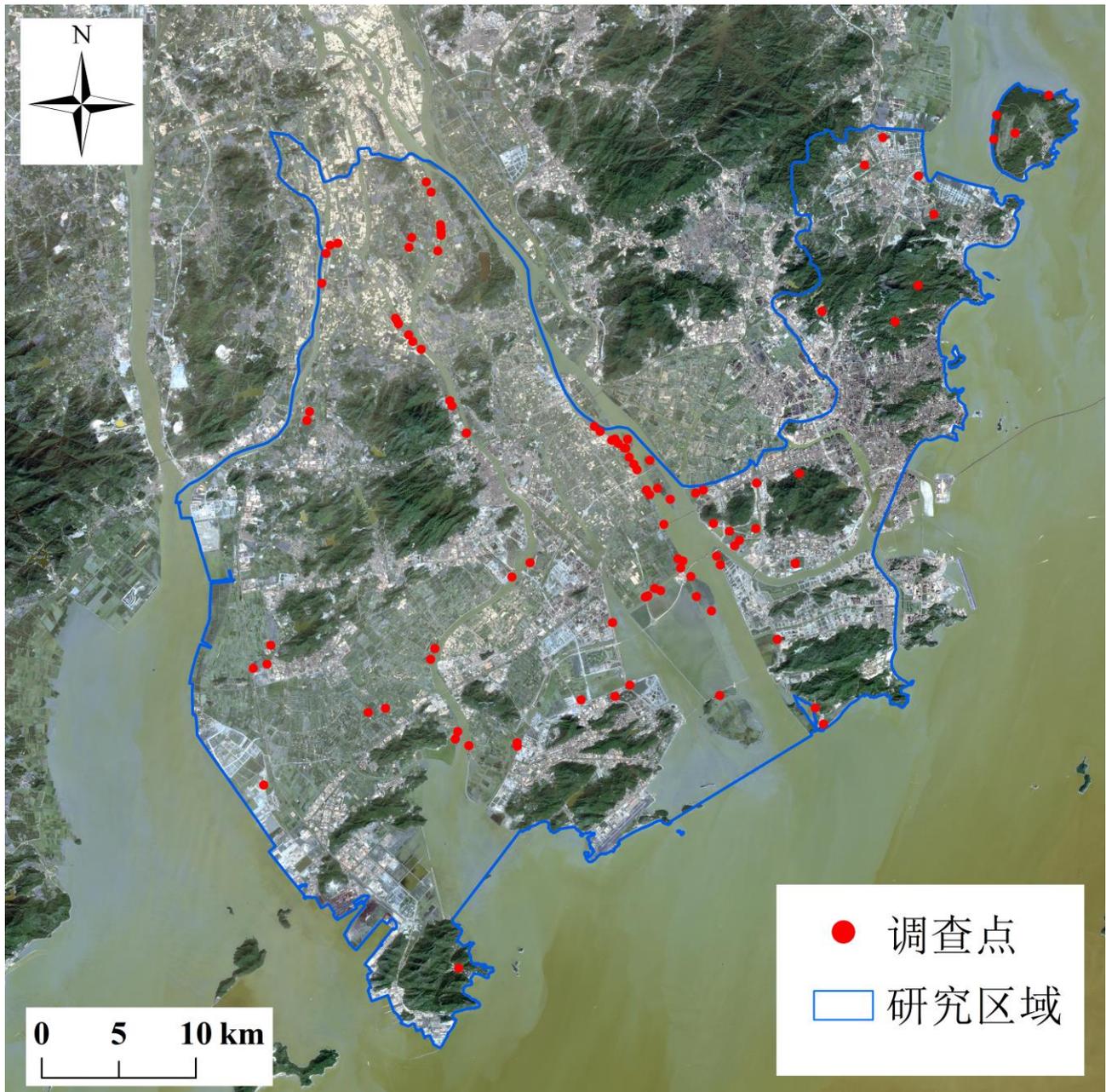


图 1 珠海市湿地外业调研点分布图（审图号为：JS (2012) 01-040）

Fig.1 Distribution map of zhuhai wetland field survey site

利用改进后的水体指数 NDWI 结合目视判读，确定水体提取阈值，提出研究区域的水体。研究区河流的面积比较大，长度较长，采用面积和长宽比形状特征对研究区的河流进行提取。提取完河流后生成掩膜

文件，对非河流继续分类，坑塘的形状呈现矩形且面积较小，湖泊的圆度信息强于水库与沟渠，沟渠的面积与宽度较小，采用面积、形状及宽度指数区分三者；由于水库位置固定且地理位置明确，所以采用人工目视解译的方法进行解译。对于其他湿地类型，采用监督分类与非监督分类相结合的方式提取，辅助数据广州省的土地利用数据以及 Google Earth 数据对分类结果进行后期精细的处理，结合人工目视解译，形成珠海市湿地类型分布图。分布结果如（图 2）所示

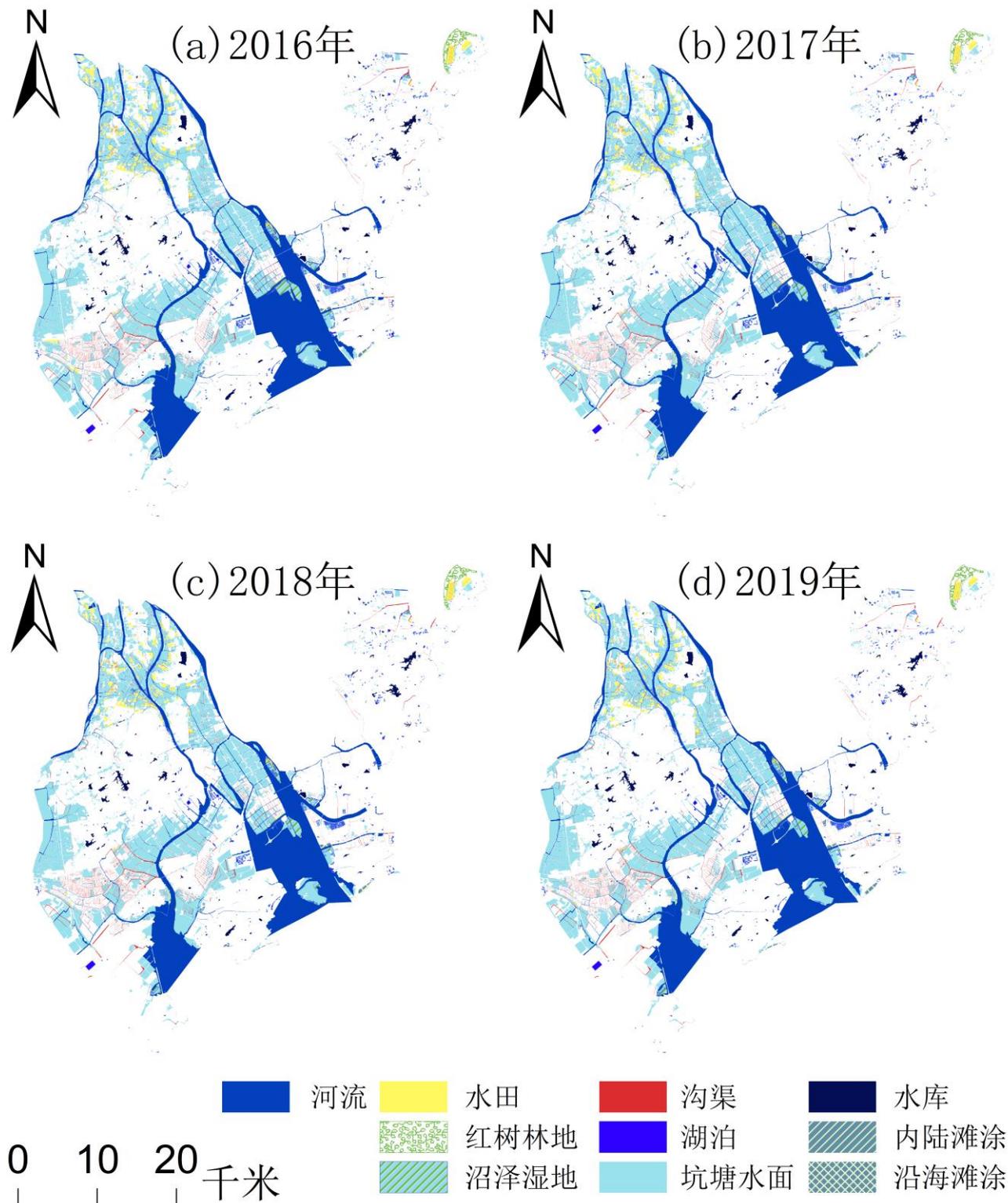


图 2 珠海市湿地分类结果图

Fig.2 Zhuhai Wetland classification result map

1.2.4 动态变化分析方法

结合近些年国内外研究现状，选择利用 ArcGIS10.6 结合 excel 实现土地利用转移矩阵。土地利用空间类型转换是基于转移矩阵分析得到式 (1)^[4]，状态转移是指客观事物由一种状态转移到另一种状态的定量表达。

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： A_{ij} 代表研究区域土地利用由初始状态到研究末期土地类型的转换状态，具体到 A_{11} 代表地块转移面积。N 代表土地利用类型的数量

1.2.5 景观格局分析方法

结合实际情况，参考相关文献。选用 ArcGIS10.6 面转栅格工具，把矢量面转换成 10m*10m 的对应栅格数据，输入到 Fragstats4.1 软件中计算。景观格局指数的选取分为类型水平和景观水平。类型水平：斑块平均面积(MPS)、各类统一斑块面积(CA)、聚集度指数(COHESION)、最大斑块面积指数 (LPI)。景观水平：同一斑块数量 (NP)、斑块密度(PD)、斑块聚合度(AI)、香浓多样性指数 (SHDI)。具体景观指数信息、计算方法及说明参考文献^[15]。上述指标能够详细的反映出景观斑块的破碎度、聚合性、离散性、多样性等信息。

2 结果与分析

2.1 珠海市湿地面积景观类型动态变化分析

结合 ArcGIS10.6 软件，计算对应湿地图斑 2016 年、2017 年、2018 年、2019 年的湿地面积，利用 Office 表格分析统计珠海湿地图斑面积及其占比 (表 1)

表 1 珠海市湿地图斑面积及其所占百分比

Table 1. The area and percentage of wetland spots in Zhuhai city

类别	2016 年		2017 年		2018 年		2019 年	
	面积 (hm ²)	比例 (%)						
水田	1887.36	3.12	1811.05	3.04	1682.08	2.84	1650.94	2.81
沟渠	1821.71	3.01	1815.69	3.04	1811.42	3.06	1799.2	3.06
红树林地	515.32	0.85	528.59	0.88	533.57	0.9	553.66	0.94
沼泽湿地	1363.59	2.25	1100.26	1.84	1053.34	1.78	1004.75	1.71
河流	21297.55	35.22	21311.5	35.74	21329.22	36.05	21327.71	36.27
湖泊	523.27	0.87	514.01	0.86	510.19	0.86	504.08	0.86
水库	1251.22	2.06	1255.16	2.11	1250.44	2.11	1235.13	2.1
坑塘	31479.37	52.06	30965.94	51.93	30679.79	51.85	30389.4	51.68
沿海滩涂	304.25	0.5	300.81	0.5	302.65	0.51	321.69	0.54
内陆滩涂	16.26	0.02	16.26	0.02	16.68	0.02	16.68	0.02
总计	60459.9		59619.27		59169.38		58803.24	

各类湿地斑块面积和图斑所占湿地图斑总面积的比例见(表 2)。由表中数据横向统计可知，珠海市地总面积在以每年 500hm² 的速度减少，四年共计减少 1656.66hm²。其中水田减少 236.42hm²；沟渠减少 358.84hm²；坑塘减少 1089.97hm²。相反红树林地四年在持续增加，其中 18-19 年增加较多，达到 20.07hm²，四年共计增加 38.34hm²。自然湿地河流、湖泊、水库，四年总体没有发生太大变化，河流面积四年总体增加 30.16hm²，湖泊面积四年总体减少 19.19hm²，水库面积四年总体减少 16.09hm²。纵向统计能够发现，珠海湿地坑塘最多，占比达到 50%以上，其次河流占比达到 35%。

由 (表 2) 湿地景观转移矩阵可知，2016-2019 年四年时间大量的坑塘转换为非湿地，导致非湿地面积

大量增加。影像解译中发现在 2017 年珠海市斗门区占用大量养殖坑塘修建机场。自然湿地：河流、湖泊、水库由于政府 2015 年成立的饮用水水源地保护条例，近四年有少量的非湿地转换成水库用地。大量沼泽湿地的侵占，直接导致四年由 194.26 公顷的沼泽湿地转换成非湿地。渔业资源近些年的兴起，使得四年来有 50.56 公顷的水田及 76.69 公顷的沼泽湿地转换成坑塘。但是在国家的重视下、当地政府的相应，从 1999 年政府对红树林地的专项整治，珠海的红树林地每年都在少量增加,以淇澳岛红树林湿地保护公园的建立为例，2016 年到 2019 年，淇澳岛红树林地累计增加 38.34hm²。

表 2 珠海市湿地图斑面积转移矩阵

Table 2 Zhuhai wetland pattern spot area transfer matrix

面积 (hm ²)		2016 年							
		非湿地	水田	沟渠	红树林地	沼泽湿地	河流	湖泊	坑塘
2017 年	非湿地	—	75.95	8.89	0.01	117.59	58.06	11.19	1329.74
	水田	0	—						3.43
	沟渠	2.68		—			0.01		2.72
	红树林地	10.15			—				
	沼泽湿地	2.64				—			0.68
	河流	23.95		0.01		89.67	—		7.49
	湖泊	0.79		0	0		0.23	—	1.87
	水库	5.16		0	0				0.39
	坑塘	26.69	0.378	4.98		59.99	42.26		30111.96
面积 (hm ²)		2017 年							
		非湿地	水田	沟渠	红树林地	沼泽湿地	河流	湖泊	坑塘
2018 年	非湿地	—	54.55	5.43		48.49	14.25	5.45	351.14
	水田	0.36	—						5.11
	沟渠	0.6		—			0.01		5.56
	红树林地	0.93			—				
	沼泽湿地	0.17				—	0.72		0.68
	河流	0.23	36.01	0.01			—		6.41
	湖泊	1.14						—	0.95
	水库	9.17							
	坑塘	27.1	43.87	1.87			8.16	0.47	—
面积 (hm ²)		2018 年							
		非湿地	水田	沟渠	红树林地	沼泽湿地	河流	湖泊	坑塘
2019 年	非湿地	—	32.24	12.84	0.02	31.9	1.58	7.48	16
	水田	10.65	—						
	沟渠	0.99		—			0.06		
	红树林地	0.8			—				
	沼泽湿地					—			
	河流			0.45			—		
	湖泊	1.38						—	
	水库	0.7							—
	坑塘	44.47	9.55	1.93		16.7	0.8		

2.2 珠海市湿地景观格局指数变化法分析

如(图3)所示,反映类型水平上景观格局的变换特征,在各斑块不同时期的景观格局变化趋势中。最大面积所占景观面积的比例(LPI)有助于确定景观类型中的优势地类。2016-2019年中,LPI最大值为河流,其次是坑塘,表明河流和坑塘构成珠海湿景观的主要景观类型。平均斑块面积(MPS)表一种平均状况。在景观分析中体现两种价值:1、景观的破碎程度,2、反映景观异质性的关键因素。分析发现,红树林地MPS最大,其次是河流、坑塘、水田,分布相对集中。而沼泽、沟渠、滩涂的MPS相对较小,说明景观斑块分布较为零星。聚集度AI反映不同类型景观类型中斑块的聚集度,聚集度与相应指数的大小成正相关,近年来,红树林地的AI达到97,结合解译的影像结果发现珠海市的红树林地多数分布在香洲区淇澳岛和横琴新区。分布较为零散的是湖泊,相对破碎,相互连通性低。斑块个数反映景观格局中板块的总数,一般NP越大,破碎程度越高,结合AI分析发现红树林地的聚集度最高,坑塘的破碎层程度较高,连通性较低。如(图4)所示,为2016-2019年的珠海市景观格局水平指数,分析发现2016年以后,珠海市湿地斑块数量NP逐年增高,同时斑块密度PD也在逐年增加,而湿地的总面积在降低,因此独立斑块面积相对较小,景观的破碎化较大。聚集度在逐年减少,从而破碎化程度一直没有减少。香浓多样性指数SHDI逐年减少,表现出珠海市湿地斑块类型有趋于单一化的趋向。

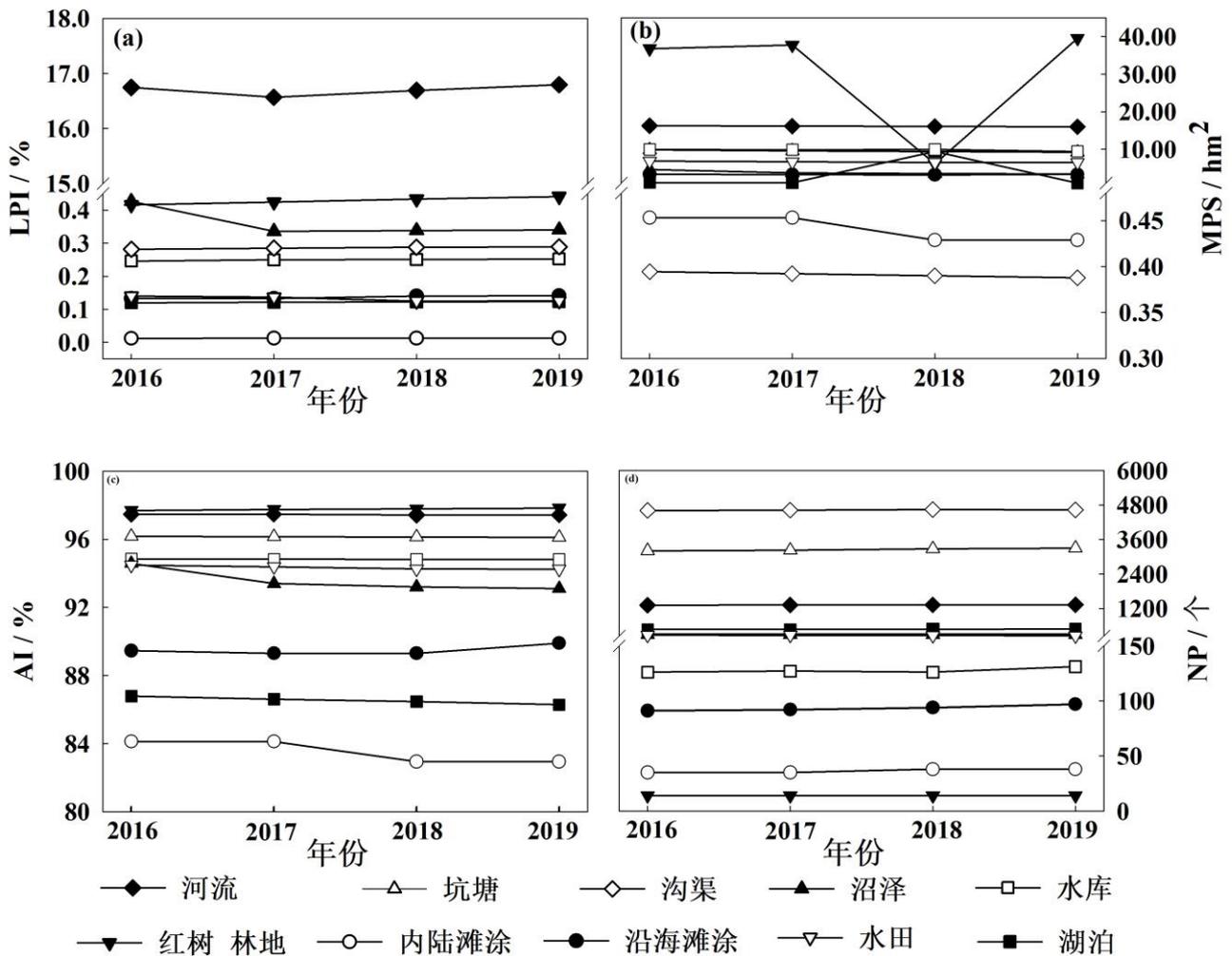


图3 不同景观类型景观格局指数年际变化

Fig.3 Inter-annual changes of landscape pattern index for different landscape types

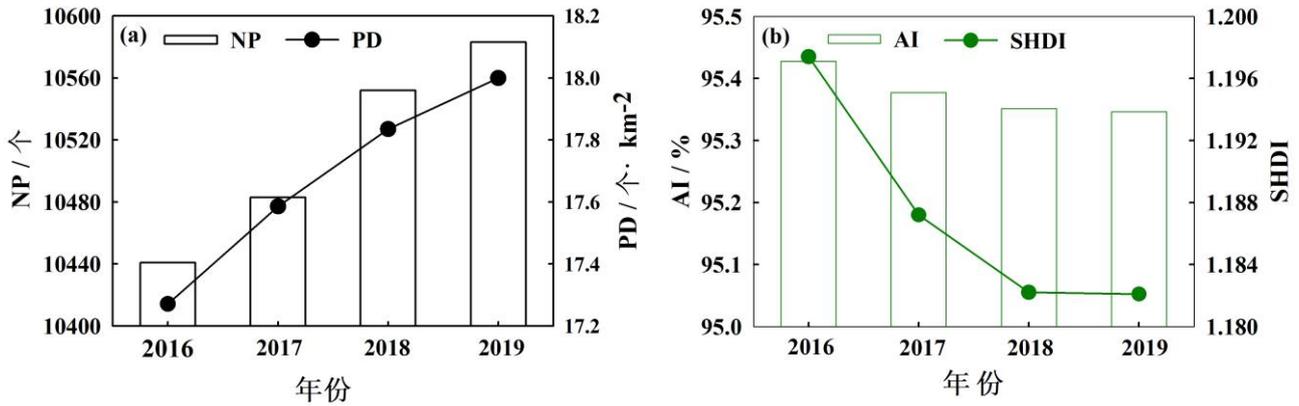


图4 斑块个数于斑块密度的年际变化

Fig.4 Interannual variation of plaque number and plaque density

3 珠海市湿地格局变化的驱动力分析

独特的地理位置，资源环境为珠海湿地的形成提供特有的空间，当今经济社会的飞速发展对湿地的建设提供经济支持，政府的正确引导为湿地的未来发展指明道路。结合珠海的独特的地理环境，自身状况，从自然因素与人为因素方面出发，分析珠海市湿地景观分布格局的变化因素。

3.1 自然因素

结合 2019 年广东省统计年鉴得到 2016 年、2017 年、2018 年、2019 年珠海市年降雨量分别为 2939.7mm、2067mm、1795.1mm、1790 mm；年平均气温分别为 22.0℃、22.1℃、22.4℃、22.5℃；湿地面积分别为：60459.9 hm²、59619.27 hm²、59169.38 hm²、58803.24 hm²。研究发现，降雨量的改变、气温的变化对沼泽湿地的变化都会产生一定的影响^[20]，刘吉平研究三江源沼泽湿地发现，温度和降雨量对沼泽湿地的变化会产生较大影响^[21]。气候的变化对珠海湿地景观格局变化产生较大的影响。结合图(6.b)与 2019 年广东省统计年鉴气象数据分析可以说明，年平均气温的升高，和降雨量的减少，导致沼泽湿地及坑塘大面积转换成非湿地，水库的面积也受到较小的影响。通过 SPASS.25 软件计算，以降雨和气温为自变量建立的线性回归模型，拟合得到修正后 R² 分别为 0.884、0.835。表明降水与温度对湿地的退化有较强的影响力。

3.2 人为因素

对比自然因素，人为因素对人工湿地的影响较为显著^[20]，而且，经济变化，人口数量，政府政策的改变对湿地景观格局的变化都会有较大的影响。通过回归分析计算得出 GDP 与人口对湿地面积变化的 R² 分别为 0.93、0.67。表明 GDP 的变化是影像湿地变化的最重要因素。

3.2.1 人口经济变化

结合 2019 广东省统计年鉴，随着社会经济的发展。珠海市近几年人口数量飞速发展，国内生产总值（GDP）也在飞速增加，三大产业同步发展，增长速率也在不断提升。如图(5.a)结合人口总数和珠海市近几年 GDP 总量对湿地总面积的影响分析统计可得。随着人口数量的剧增与当地产业结构的变化，导致住房面积的大量需求，城市交通用地、公共设施等服务型用地的规模扩大。结合珠海独特的地理环境，以至于大量的湿地面积贡献于城市建设。与此同时渔业资源的迅猛发展，导致大量水田变更为坑塘，同时大量的沼泽湿地被侵占，表面上没有改变湿地总面积，但是对湿地资源业造成严重的损害，截至 2019 年 1 月珠海市全市养殖坑塘的总面积达到 22932.87hm²。占 2019 年湿地坑塘水面的 75%。如图(6)所示。

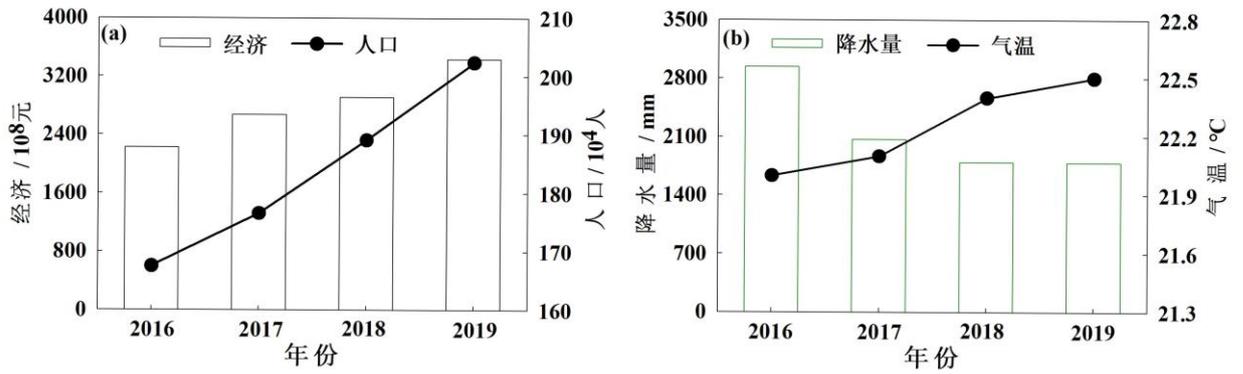


图5 2016-2019年珠海市湿地变化影响因素变化图

Fig.5 Change map of influencing factors of Zhuhai wetland change from 2016 to 2019

3.2.2 政府政策

湿地作为一种社会共享的资源，对社会具有重大贡献。在政府的管理调控作用下，湿地资源的利用会逐渐趋于有利化。2014年广东省发布《广东省林业生态红线划定工作方案》目的是为了保持现有湿地不减少各地区湿地自然保护区得到有效保护。2017年广东省发布《广东省湿地公园建设指引》目的是为了引导和规范城市湿地公园的建设规划。对应政策的出台在近几年得到较小的回应。珠海市湿地的建设以珠海淇澳岛湿地公园为首积极响应，近几年的红树林地得到有效保护和微弱增加。未来政府利用自身推动力和对应政策的实施，推动湿地资源最大化保护与发展。

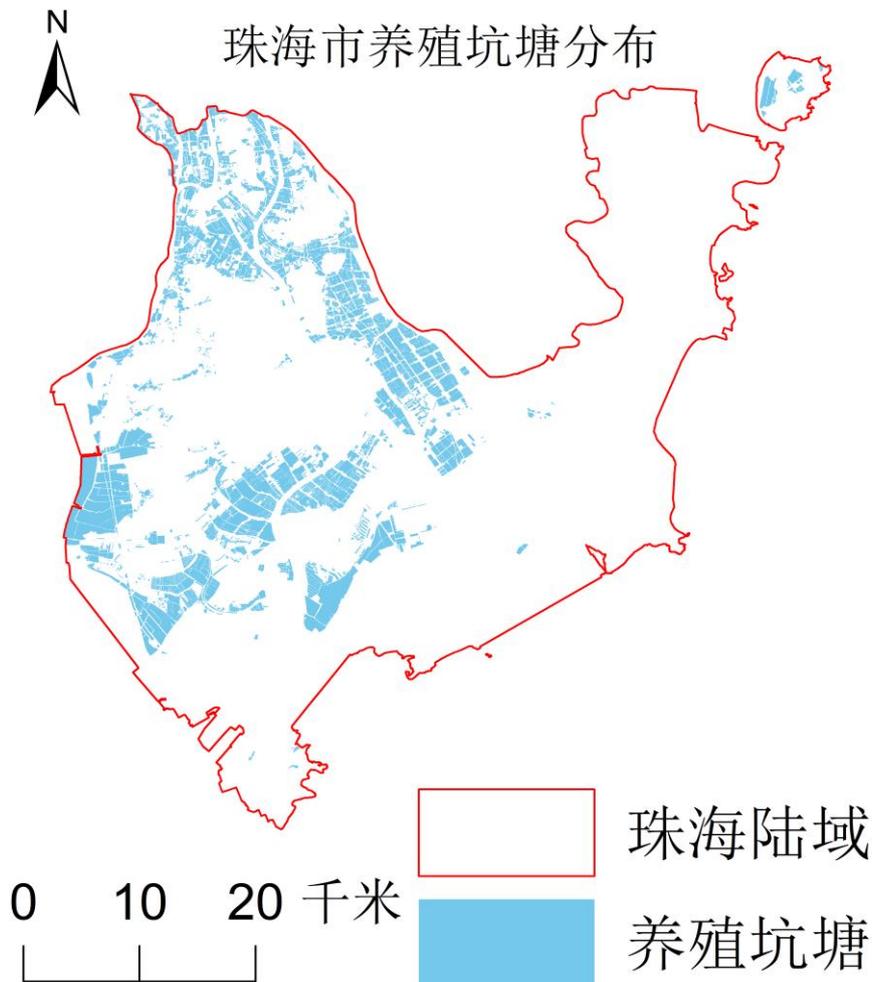


图6 珠海市2019年养殖坑塘分布

Fig.6 Distribution of breeding pits and ponds in ZhuHai in 2019

4 结论与展望

4.1 结论

本文借 2016-2019 年分辨率 10 米的 Sentinel-2 遥感影像数据，利用面向对象解译出珠海湿地景观格局分布，运用 ArcGIS 空间分析的方法和 fragstats 计算景观格局指数，分析珠海湿地景观的空间分布及驱动因素。

(1) 珠海市湿地景观格局分析表明，河流和坑塘水面构成珠海湿景观的主要景观类型。存在大量的坑塘，沼泽湿地转换成非湿地用地，近年来渔业资源的飞速发展，导致部分水田及沼泽湿地转换为坑塘，少量的非湿地转换为红树林地和水库用地。分析 MPS 发现红树林地、河流、坑塘、水田，分布相对集中，其中红树林地主要分布在淇澳岛，河流、坑塘、水田主要分布在斗门区及金湾区。通过聚集度 AI 指数分析发现，湿地景观格局的聚集度也逐年降低，且根据香浓多样性指标 SHDI 数据显示，珠海湿地类型有趋于单一化的趋势。

(2) 2016-2019 年珠海市湿地总面积展现出减少的趋势，其中每年减少量大约 500hm²，四年的总的减少量 1656.66hm²，减少率达到 2.74%。坑塘减少面积最大达到 1089.97hm²，自然湿地湖泊、水库，四年总体变化不大，但均有减小，减小量分别为 19.9hm²、16.09hm² 相反，红树林地在近几年的政府调控下面积有所增加，增加量达到 38.34hm²，增加了 7.4%。由于香洲区近几年的发展较快，伴随经济增长，人口增多大量湿地被侵占，因此珠海市湿地发生变化的主要区域在香洲区。

(3) 通过讨论驱动因素发现，经济发展和人口增加导致珠海市湿地减少的主要原因，其次降雨及温度的变化也会对湿地产生破坏，降雨量的减少和年平均温度的升高导致湿地面积在逐年减少。从红树林地的变化情况来看，政府有效的管控使近年来红树林地面积逐年增加。所以未来在政府相关政策支持下湿地资源能够得到有效保护。

4.2 展望

受影像精度的限制，本文只获取 Sentinel-2 发射（2015 年 6 月 23）以后至今的四年数据，数据量不够充足，结果只能发现近几年的珠海市湿地景观格局的变化。四年的时间湿地的变化不够明显，以每年的间隔作为变化，对未来的预测不及长时间的变化分析，但本文基于 10m 的 Sentinel-2 影像，把地物分类做到精细化，结合珠海市水系数据有效的把河流、水库、湖泊、坑塘、水田、红树林地区分出来，能够为珠海市地物分类提供有效数据。总体而言，本文的遥感影像精度相对历史研究者的研究相对较高，信息的可靠度更高。因此在未来的研究中依据本研究数据，延长研究年限，得到更加准确的珠海市湿地景观格局的变化趋势。

参考文献

- 1 徐晓龙,王新军,贾宏涛,等.巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局季相变化分析[J].农业资源与环境学报,2020,37(01):82-91.
- 2 中国国际重要湿地生态系统评价/马广仁主编.[M]北京科学出版社,2016.9
- 3 王海龙,刘雪惠,温小荣等.顾及植被季相节律的滨海湿地类型动态变化研究[J].林业资源管理,2017(02):58-64.
- 4 井云清,张飞,张月.基于 CA-Markov 模型的艾比湖湿地自然保护区土地利用/覆被变化及预测[J].应用生态学报,2016,27(11):3649-3658.
- 5 Withey P, van Kooten G C. The effect of climate change on optimal wetlands and waterfowl management in Western Canada[J]. Ecological Economics, 2011, 70(4): 798-805.
- 6 刘芳宏. 城市湖泊型湿地公园规划研究[D].哈尔滨: 东北林业大学,2010.
- 7 李强,刘剑锋,李小波,等.京津冀土地承载力空间分异特征及协同提升机制研究[J].地理与地理信息科学,2016,32(01):105-111.
- 8 易凤佳,李仁东,常变蓉,等.2000~2010 年汉江流域湿地动态变化及其空间趋向性[J].长江流域资源与环境,2016,25(09):1412-1420.
- 9 毛德华,王宗明,罗玲,等.1990—2013 年中国东北地区湿地生态系统格局演变遥感监测分析[J].自然资源学报,2016,31(08):1253-1263.
- 10 Ernoult A , Tremauville Y , Cellier D , et al. Potential landscape drivers of biodiversity components in a flood plain: Past or present patterns?[J]. Biological Conservation, 2006, 127(1):1-17.
- 11 Debanshi, Sandipta, and Swades Pal. "Wetland delineation simulation and prediction in deltaic landscape." *Ecological Indicators* 108 (2020): 105757.
- 12 张莹莹,蔡晓斌,杨超,等.1974-2017 年洪湖湿地自然保护区景观格局演变及驱动力分析[J].湖泊科学,2019,31(01):171-182.
- 13 宫宁,牛振国,齐伟,张海英.中国湿地变化的驱动力分析[J].遥感学报,2016,20(02):172-183.
- 14 马学垚,杜嘉,梁雨华,等.20 世纪 60 年代以来 6 个时期长江三角洲滨海湿地变化及其驱动因素研究[J].湿地科学,2018,16(03):303-312.
- 15 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.
- 16 单菁菁,张卓群.粤港澳大湾区融合发展研究现状、问题与对策[J/OL].北京工业大学学报(社会科学版):1-8[2020-02-24]
- 17 胡洵瑀,钱逸凡,朱勇强,等.世界主要国家国际重要湿地信息公开及湿地名录建立[J].湿地科学与管理,2019,15(03):21-26.
- 18 第三次全国土地调查工作方案调整[J].地矿测绘,2018,34(03):16.
- 19 赵春霞,钱乐祥.遥感影像监督分类与非监督分类的比较[J].河南大学学报(自然科学版),2004(03):90-93.
- 20 杜际增,王根绪,杨燕,等.长江黄河源区湿地分布的时空变化及成因[J].生态学报,2015,35(18):6173-6182.
- 21 刘吉平,赵丹丹,田学智,赵亮,刘家福.1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J].生态学报,2014,34(12):3234-3244.

基金项目：国家自然科学基金项目（51968042）

作者简介：郁林（1995-），男，河南信阳，研究生，主要从事地理信息科学及遥感监测研究。联系电话：13283971203，[邮箱 1615338264@qq.com](mailto:1615338264@qq.com)，地址 甘肃省兰州市七里河区兰工坪路 287 号兰州理工大学，邮编 730050。