

doi:10.3969/j.issn.1672-4623.2021.11.013

# 珠海市湿地景观格局演变及其驱动力分析



郁林<sup>1</sup>, 党星海<sup>1</sup>, 纪婵<sup>2</sup>, 李治斌<sup>1</sup>, 徐晓龙<sup>2</sup>

(1.兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 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, 为地球上 20% 的已知物种提供了生存环境, 享有“地球之肾”的美誉。然而, 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。以珠海市生态系统为研究对象, 基于 2016—2019 年 10 m 分辨率的 Sentinel-2 遥感影像, 解译得到珠海市湿地景观空间分布格局; 再利用 ArcGIS 空间分析方法和 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 2016—2019 年珠海市湿地面积逐年减少, 减少总量达到 1 656.66 hm<sup>2</sup>, 其中面积减少最多的为坑塘水面和沼泽湿地, 面积增加最多的为红树林地湿地; ③ 坑塘、沼泽湿地的减少主要转移为非湿地, 而非湿地转移为湿地的现象相对较少; ④ 导致珠海市湿地景观减少的主要因素是经济的飞速发展, 人口扩张和渔业发展也给湿地带来了威胁。

**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:** P237

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1672-4623(2021)11-0048-06

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<sup>[1]</sup>, 也是最具生产力的自然环境之一, 为自然生物提供了复杂的生存环境<sup>[2]</sup>, 在维护区域生态平衡等方面具有不可替代的作用<sup>[3-5]</sup>。近年来, 由于城市人口迅猛增加、区域经济飞速发展, 对土地利用的需求急剧增加<sup>[6]</sup>, 湿地景观格局遭到严重破坏, 甚至威胁到人们的生存环境<sup>[7]</sup>。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, 若不能有效保护其湿地资源, 将会对珠海市的生态环境造成严重威胁, 因此急需开展珠海市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, 已成为地类普查和湿地动态监测的重要方式<sup>[8]</sup>。近年来, 由于我国湿地景观不断遭到破坏, 因此湿地景观的变化监测及其驱动力因素分析已成为湿地遥感监测的热门方向, 如毛德华<sup>[9]</sup>等通过分析我国东北地区的湿地变化情况, 得到气候和人为因素是湿地变化的重要原因的结论; Ernoult A<sup>[10]</sup>等通过对塞纳河流域漫滩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的结论; Debanshi S<sup>[11]</sup>等利用卫星图像结合差分水体指数对恒河三角洲印度部分地区的湿地进行了圈定, 并采用细胞自动机对湿地面积变化进行了模拟分析; 张莹莹<sup>[12]</sup>等利用构建 LUCC 统计模型和计算湿地景观格局指数的方法研究了 1974—2017 年江汉平原洪湖湿

地自然保护区的变化情况, 发现其湿地生态系统遭到严重破坏; 宫宁<sup>[13]</sup>等利用遥感技术分析了我 国近 30 a 湿地的变化情况, 结果表明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的不同而有所差异; 马学焘<sup>[14]</sup>等研究了多期长江三角洲地区滨海湿地景观格局的变化情况, 并对其驱动要素进行了分析; 徐晓然<sup>[15]</sup>等通过多期的遥感影像, 提取了海南红树林地湿地景观的变化情况, 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的热点, 国内研究主要集中在长江三角洲、江汉平原等较大的区域, 而对珠海等沿海城市湿地景观格局的研究相对较少; 且已有研究大多基于 30 m 分辨率的 Landsat 卫星影像, 空间分辨率相对较低。鉴于此, 本文采用 10 m 空间分辨率的 Sentinel-2 卫星影像对拥有独特地理位置的珠海市湿地系统进行了研究。首先通过 4 期遥感影像对珠海市湿地图斑进行精细分类; 然后利用 ArcGIS 空间分析方法和 Fragstats 计算景观格局指数, 进而计算珠海市湿地系统近年来的动态变化情况; 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了分析, 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。

**收稿日期:** 2020-07-15。

**项目来源:** 国家自然科学基金资助项目(51968042)。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

珠海市是粤港澳大湾区九城之一,地处广东省的西南部,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5个地市环抱<sup>[16]</sup>。受亚热带季风气候影响,珠海市常年多雷雨天气,每年4—9月受东南季风侵扰,降雨量明显增多,占全年总降雨量的85%,为雨季;10月—次年3月受东北季风影响,降雨偏少,为旱季;年平均降雨量可达2000多mm,全年相对湿度为80%。珠海市整体地势相对平坦,西北地区高、东南沿海地区低,市内河流纵横,分布有6条河流、88个水库以及大量坑塘、沼泽,拥有丰富的湿地资源。近年来,随着沿海城市的飞速发展,出现了围海造陆、自然坑塘养殖化、填库造陆、资源浪费等破坏自然湿地的情况,对珠海市湿地生态系统造成了严重威胁,因此展开湿地景观格局的探讨,对珠海市湿地安全保护具有重要的参考价值。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 数据来源与预处理

为准确提取珠海市陆域湿地的分布信息,遥感影像数据中的云量需控制在3%以下;为了对比年份湿地景观格局,遥感影像选择不同年份同一月份的数据;还需综合考虑影像的质量、获取度、使用效率等情况。本文最终选取的遥感影像数据为2016-07-29、2017-10-11、2018-10-02、2019-10-04的Sentinel-2影像数据,数据均来源于欧航局(<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<sup>[17-18]</sup>,结合研究区目前的状况,本文将珠海市陆域湿地划分为水田、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相近,为了提高分类精度,准确分析湿地景观格局变化情况,统一归为沼泽湿地。

#### 1.2.3 信息提取与精度验证

高精度样本有助于提高分类精度<sup>[19]</sup>,样本选取时遵循纯净、典型、代表3个特性,选取最优像元作为样本。本文选取的样本数据包括实地数据和Google Earth高分辨率目视解译数据,其中实地数据为2019-08-27的现场踏勘数据,现场调研点分布如图1所示,主要包括GPS精确定位、照片、无人机全景数据等;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,各类地物样本应不低于100个,且随机均匀分布在研究范围内。

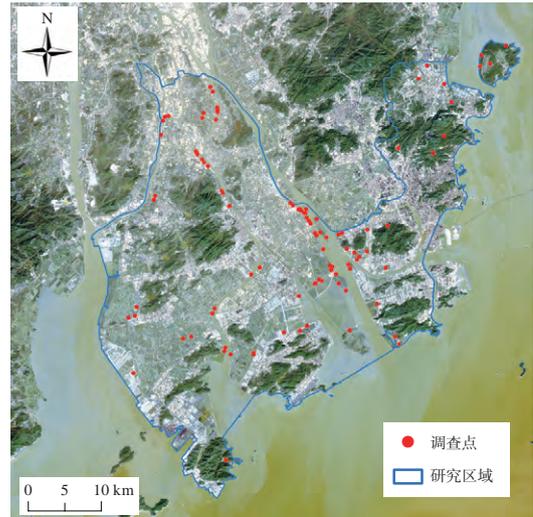


图1 珠海市湿地外业调研点分布图  
(审图号: JS(2012)01-040)

本文利用NDWI结合目视判读确定水体提取阈值,进而提取研究区域的水体。研究区河流面积较大、长度较长,首先利用面积和长宽比形状特征对研究区河流进行提取,并生成掩膜文件;再对非河流进行分类,坑塘通常呈矩形且面积较小,湖泊的圆度信息强于水库和沟渠,沟渠面积和宽度较小,因此采用面积、形状和宽度指数区分三者。由于水库位置固定且地理位置明确,因此采用人工目视解译的方法进行解译。对于其他湿地类型,本文采用监督分类与非监督分类相结合的方式提取,并利用广东省土地利用数据和Google Earth数据对分类结果进行后期精细处理。结合人工目视解译,形成珠海市湿地类型分布图,如图2所示。

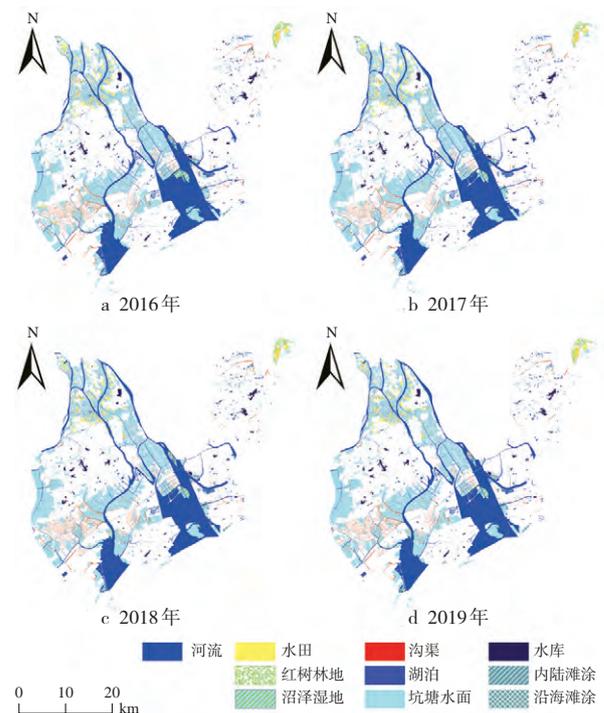


图2 珠海市湿地类型分布图

### 1.2.4 动态变化分析方法

结合近年来国内外研究现状, 本文利用 ArcGIS10.6 结合 Excel 构建土地利用转移矩阵。土地利用空间类型转换是基于转移矩阵分析得到式(1)<sup>[4]</sup>。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。

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

式中,  $A_{ij}$  为研究区土地利用类型由初始状态到研究末期的转换状态, 具体到  $A_{11}$  为地块转移面积;  $n$  为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, 本文利用 ArcGIS10.6 面转栅格工具将矢量面转换成  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  的对应的栅格数据, 并输入到 Fragstats4.1 软件中进行计算。景观格局指数分为类型水平和景观水平, 其中类型水平包括斑块平均面积 (MPS)、斑块面积 (CA)、聚集度指数 (COHESION)、最大斑块面积指数 (LPI); 景观水平包括斑块数量 (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、计算方法和说明详见参考文献[15]。上述指标能详细反映景观斑块的破碎度、聚合性、离散性、多样性等信息。

## 2 研究结果与分析

### 2.1 珠海市湿地面积景观类型动态变化分析

本文利用 ArcGIS10.6 软件计算得到对应湿地图斑 2016 年、2017 年、2018 年、2019 年的湿地面积, 再利用 Office 表格分析统计珠海市湿地图斑面积及其占比, 结果如表 1 所示, 可以看出, 珠海市湿地总面积在以  $500 \text{ hm}^2/\text{a}$  的速度减少, 4 a 共减少了  $1\ 656.66 \text{ hm}^2$ ,

其中水田面积减少了  $236.42 \text{ hm}^2$ , 沟渠面积减少了  $358.84 \text{ hm}^2$ , 坑塘面积减少了  $1\ 089.97 \text{ hm}^2$ ; 相反红树林地面积在持续增加, 其中 2018—2019 年增加较多, 达到  $20.07 \text{ hm}^2$ , 4 a 共增加了  $38.34 \text{ hm}^2$ ; 河流、湖泊、水库等自然湿地总体没有太大变化, 其中河流面积总体增加了  $30.16 \text{ hm}^2$ , 湖泊面积总体减少了  $19.19 \text{ hm}^2$ , 水库面积总体减少了  $16.09 \text{ hm}^2$ ; 从纵向统计来看, 珠海市湿地坑塘最多, 占比达到 50% 以上, 其次为河流, 占比达到 35%。

珠海市湿地景观转移矩阵如表 2~4 所示, 可以看出, 2016—2019 年大量坑塘转移为非湿地, 导致非湿地面积大量增加, 影像解译中显示 2017 年珠海市斗门区占用大量养殖坑塘修建了机场; 由于政府 2015 年成立的饮用水水源地保护条例, 2016—2019 年有少量的非湿地转移为水库用地; 2016—2019 年  $194.26 \text{ hm}^2$  的沼泽湿地转移为非湿地, 大量沼泽湿地被侵占; 随着渔业资源的兴起, 2016—2019 年  $50.56 \text{ hm}^2$  的水田和  $76.69 \text{ hm}^2$  的沼泽湿地转移为坑塘; 在国家的重视下, 1999 年当地政府对红树林地开展了专项整治, 红树林地面积每年都有少量增加, 以淇澳岛红树林湿地公园为例, 2016—2019 年淇澳岛红树林地面积累计增加了  $38.34 \text{ hm}^2$ 。

### 2.2 珠海市湿地景观格局指数变化分析

不同景观类型景观格局指数年际变化如图 3 所示, 能反映类型水平上景观格局的变化特征。在各斑块不同时期的景观格局变化趋势中, LPI 有助于确定景观类型中的优势地类。2016—2019 年 LPI 的最大值为河流, 其次为坑塘, 表明河流和坑塘是珠海市湿地景观中的优势景观地类。MPS 反映了一种平均状况, 在景观分析中体现了景观破碎程度和景观异质性。通过分析发现, 红树林地的 MPS 最大, 其次为河流、坑塘、水田, 且分布相对集中; 而沼泽湿地、沟渠、滩涂的 MPS 相对较小, 说明景观斑块分布较零星。AI 反映

表 1 珠海市湿地图斑面积及其占比

类别	2016 年		2017 年		2018 年		2019 年	
	面积/ $\text{hm}^2$	比例/%						
水田	1 887.36	3.12	1 811.05	3.04	1 682.08	2.84	1 650.94	2.81
沟渠	1 821.71	3.01	1 815.69	3.04	1 811.42	3.06	1 799.2	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	1 363.59	2.25	1 100.26	1.84	1 053.34	1.78	1 004.75	1.71
河流	21 297.55	35.22	21 311.5	35.74	21 329.22	36.05	21 327.71	36.27
湖泊	523.27	0.87	514.01	0.86	510.19	0.86	504.08	0.86
水库	1 251.22	2.06	1 255.16	2.11	1 250.44	2.11	1 235.13	2.1
坑塘	31 479.37	52.06	30 965.94	51.93	30 679.79	51.85	30 389.4	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	60 459.9	100	59 619.27	100	59 169.38	100	58 803.24	100

表 2 2016—2017 年珠海市湿地景观面积转移矩阵 / hm<sup>2</sup>

		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	1 329.74
	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		30 111.96

表 3 2017—2018 年珠海市湿地景观面积转移矩阵 / hm<sup>2</sup>

		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	—

表 4 2018—2019 年珠海市湿地景观面积转移矩阵 / hm<sup>2</sup>

		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		

了不同景观类型中斑块的聚集程度，其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可知，珠海市红树林地多数分布在香洲区淇澳岛和横琴新区；AI 较低的为湖泊，斑块相对破碎，相互连通性低。NP 反映了景观格局中的斑块总数，一般 NP 越大，破碎程度越高。结合 AI 分析发现，红树林地的聚集程度最高，坑塘的破碎程度较高、连通性较低。2016—2019 年珠海市湿地 NP 和 PD 年际变化如图 4 所示，可以看出，珠海市湿地 NP 逐年增加，同时 PD 也在逐年增加，而湿地总面积在减少，因此独立斑块面积相对较小，景观破碎化程度较高；AI 在逐年减少，表明破碎化程度一直没有降低；SHDI 在逐年减少，说明珠海市湿地斑块类型趋于单一化。

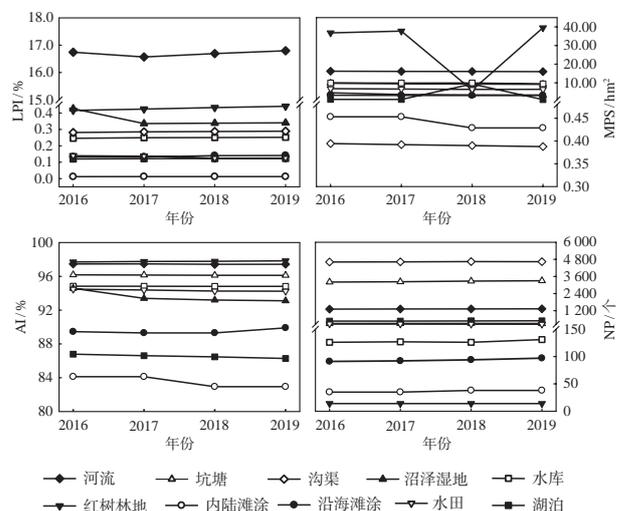


图 3 不同景观类型景观格局指数年际变化曲线

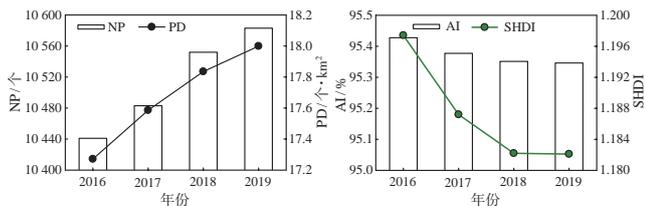


图 4 2016—2019 年珠海市湿地 NP 和 PD 年际变化曲线

### 3 湿地景观格局变化的驱动力分析

独特的地理位置、资源环境为珠海市湿地的形成提供了特有的空间，经济社会的飞速发展对湿地建设提供了经济支持，政府的正确引导为湿地的未来发展指明了道路。结合珠海市独特的地理环境，本文从自然因素和人为因素两个方面分析了珠海市湿地景观分布格局变化的驱动力，如图 5 所示。

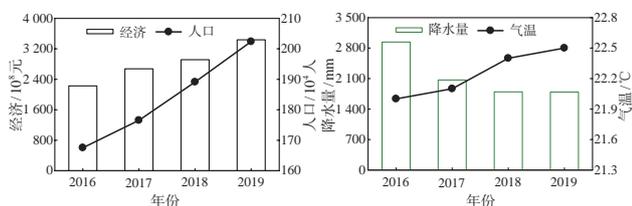


图 5 2016—2019 年珠海市湿地变化的驱动因素

#### 3.1 自然因素

结合 2019 年广东省统计年鉴可知，2016 年、2017 年、2018 年、2019 年珠海市的年降雨量分别为 2 939.7 mm、2 067 mm、1 795.1 mm 和 1 790 mm；年均气温分别为 22.0℃、22.1℃、22.4℃和 22.5℃；湿地面积分别为 60 459.9 hm<sup>2</sup>、59 619.27 hm<sup>2</sup>、59 169.38 hm<sup>2</sup>和 58 803.24 hm<sup>2</sup>。降雨量、气温将对沼泽湿地的变化产生一定的影响<sup>[20]</sup>，刘吉平<sup>[21]</sup>等研究三江源沼泽湿地发现，温度和降雨量会对沼泽湿地的变化产生较大影响，因此气候的变化将对珠海市湿地景观格局产生较大影响。年均气温的升高、降雨量的减少将使沼泽湿地和坑塘大面积转移为非湿地，水库面积也将受到一定影响。通过 SPSS25 软件计算可知，以降雨和气温为自变量建立的线性回归模型，拟合得到修正后的 R<sup>2</sup> 分别为 0.884 和 0.835，表明降水量和气温对湿地的退化具有较强的影响力。

#### 3.2 人为因素

与自然因素相比，人为因素对人工湿地的影响较为显著<sup>[20]</sup>，且经济发展、人口数量、政府政策的改变均对湿地景观格局的变化具有较大影响。通过回归分析计算得到 GDP 和人口对湿地面积变化影响的 R<sup>2</sup> 分别为 0.93 和 0.67，表明 GDP 是影响湿地面积变化最重要的因素。

#### 3.2.1 人口经济变化

由 2019 年广东省统计年鉴可知，随着社会经济的发展，珠海市人口数量和 GDP 都在飞速增加，三大产业同步发展，增长速率不断提升。结合珠海市人口总数和 GDP 总量对湿地面积的影响分析可知，随着人口数量的剧增以及当地产业结构的变化，住房面积需求量巨大，城市交通、公共设施等服务型用地规模不断扩大，导致大量湿地转移为城市建设用地。与此同时，渔业资源的迅猛发展导致大量水田转移为坑塘，大量沼泽湿地被侵占，表面上未改变湿地总面积，但对湿地资源造成了严重损害。截至 2019 年 1 月珠海市全市养殖坑塘的总面积达到 22 932.87 hm<sup>2</sup>，占 2019 年湿地坑塘水面的 75%，如图 6 所示。

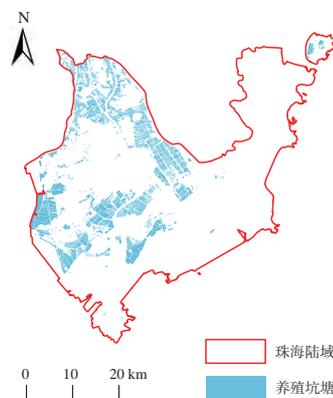


图 6 珠海市 2019 年养殖坑塘分布

#### 3.2.2 政府政策

湿地作为一种社会共享资源，对社会具有重大贡献。在政府管理调控作用下，湿地资源的利用将逐渐趋于有利化。2014 年广东省发布了《广东省林业生态红线划定工作方案》，其目的是保持现有湿地不减少，使各地区湿地自然保护区得到有效保护；2017 年广东省发布了《广东省湿地公园建设指引》，其目的是引导和规范城市湿地公园的建设规划；对应政策的出台得到了较小的回应。珠海市湿地建设以珠海淇澳岛湿地公园为首积极响应，红树林地得到了有效保护，面积少量增加。未来政府应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。

### 4 结语

基于 2016—2019 年 10 m 分辨率的 Sentinel-2 遥感影像数据，本文通过面向对象解译得到珠海市湿地景观格局的分布情况，再利用 ArcGIS 空间分析方法和 Fragstats 计算得到景观格局指数，从而分析了珠海市湿地景观格局的空间分布情况及其驱动力。

1) 河流和坑塘是珠海市湿地景观的优势景观地类。大量的坑塘、沼泽湿地转移为非湿地, 渔业资源的飞速发展使得部分水田和沼泽湿地转移为坑塘, 少量非湿地转移为红树林地和水库。通过 MPS 分析发现, 红树林地、河流、坑塘、水田的分布相对集中, 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和金湾区。通过 AI 分析发现, 湿地景观格局的 AI 逐年降低, 且根据 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呈减少趋势, 年均减少量约为 500 hm<sup>2</sup>, 总减少量为 1 656.66 hm<sup>2</sup>, 减少率达 2.74%。坑塘面积减少最多, 达到 1 089.97 hm<sup>2</sup>; 湖泊、水库面积总体变化不大, 分别减少 19.9 hm<sup>2</sup> 和 16.09 hm<sup>2</sup>; 红树林地在政府调控下面积有所增加, 增加量为 38.34 hm<sup>2</sup>, 增加了 7.4%。由于香洲区近年来发展速度较快, 随着经济增长、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) 通过分析驱动力发现, 经济发展和人口增加是导致珠海市湿地减少的主要原因, 其次是降雨量和气温变化, 降雨量的减少和年均气温的升高导致湿地面积逐年减少。从红树林地的变化情况看, 政府的有效管控使得近年来红树林地面积逐年增加, 因此在政府相关政策的支持下, 湿地资源能得到有效保护。

受影像精度的限制, 本文只获取了 Sentinel-2 发射 (2015-06-23) 至今的 4 a 数据, 数据量不够充足, 只能分析近年来珠海市湿地景观格局的变化情况。4 a 时间湿地的变化不够明显, 以 a 为间隔, 对未来的预测不及长时间的变化分析, 但本文基于 10 m 分辨率的 Sentinel-2 影像, 结合珠海市水系数据, 有效地将河流、水库、湖泊、坑塘、水田、红树林地区分出来, 能为珠海市地物分类提供有效数据。

## 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(1): 82-91
- [2] 马广仁. 中国国际重要湿地生态系统评价[M]. 北京: 科学出版社, 2016
- [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(2): 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): 3 649-3 658
- [5] Withey P, Kooten V 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(1): 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(9): 1 412-1 420
- [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(8): 1 253-1 263
- [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 S, Pal S. Wetland Delineation Simulation and Prediction in Deltaic Landscape[J]. Ecological Indicators, 2020(108): 105 757
- [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(1): 171-182
- [13] 官宁, 牛振国, 齐伟, 等. 中国湿地变化的驱动力分析[J]. 遥感学报, 2016, 20(2): 172-183
- [14] 马学焱, 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(3): 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): 7 458-7 468
- [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]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2020, 20(2): 1-8
- [17] 胡淘瑞, 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(3): 21-26
- [18] 作者不详. 第三次全国土地调查工作方案调整[J]. 地矿测绘, 2018, 34(3): 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(3): 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): 6 173-6 182
- [21] 刘吉平, 赵丹丹, 田学智, 等. 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): 3 234-3 244

**第一作者简介:** 郁林, 硕士研究生, 主要从事地理信息科学与遥感监测研究。

**Research on Automatic Extraction Method of Route Sectional Data of Broken Terrain**

by CHANG Junfeng

**Abstract** In view of the present situation of high labor intensity, low efficiency and poor data accuracy in the conventional route sectional measurement in the broken terrain, we proposed a new method based on Visual LISP language for constructing irregular triangular network to automatically extract sectional data in the broken terrain. The practical engineering application shows that this method can greatly improve the extraction efficiency of sectional data, and has certain practical value in production.

**Key words** broken terrain, cross-section measurement, irregular triangular network (Page: 38)

**Research on Intelligent Linefeed Method of Map Annotation with Considering Semantics**

by ZHANG Wei

**Abstract** In this paper, we proposed an intelligent linefeed method of map annotation with considering semantics. The method can solve the problems that the long annotations in the Internet map are not beautiful and the manual work is heavy, and improve the readability of map annotation. This method has been used in the electronic map production of "MapWorld · Fujian", and plays an important role.

**Key words** map annotation, point of interest, jieba parteciple, FME (Page: 41)

**Positioning Performance Analysis of BDS-2/BDS-3 Short Baseline RTK at Different Altitude Angles**

by LUO Jie

**Abstract** Aiming at the current BDS positioning performance evaluation problem, we analyzed the short baseline RTK positioning performance of BDS-2, BDS-3 and BDS-2/BDS-3 at different altitude angles based on the short baseline data of about 12.93 km composed of domestic MGEX. The experimental results show that as the altitude angle increases, the number of satellites available, positioning accuracy and epoch rate of BDS-2 and BDS-3 decrease significantly, and the PDOP value increases significantly. While BDS-2/BDS-3 can effectively improve this situation, make up for the poor positioning performance of single satellite in extreme environments, and provide a certain reference for future BDS positioning performance research.

**Key words** BDS, different altitude angles, RTK, accuracy (Page: 44)

**Wetland Landscape Pattern Evolution and Its Driving Force Analysis in Zhuhai City**

by YU Lin

**Abstract** 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. In this paper, taking the ecosystem of Zhuhai City as the research object, we interpreted the spatial distribution of wetland landscape pattern in Zhuhai City based on Sentinel-2 remote sensing images with a resolution of 10 m from 2016 to 2019. Then, we used ArcGIS spatial analysis and Fragstats methods to calculate its landscape pattern indexes, and analyzed the changes of wetland landscape pattern in Zhuhai City and its driving factors. The results show that ①reservoir and pit are the dominant landscape types of wetland landscape in Zhuhai City. Among them, the fragmentation degrees of pits, lakes, marshes and wetlands are increasing, and the spatial connectivity is poor. The aggregation degrees of river and mangrove forest are relatively good. ②The wetland area in Zhuhai City decreased year by year from 2016 to 2019, and the total decrease area reached 1 656.66 hm<sup>2</sup>. Among them, the area decreased the most for pit surface and marsh wetland, and the area increased the most for mangrove woodland wetland. ③The reduction of pit and marsh wetlands are mainly due to the diversion of non-wetland, while the phenomenon of non-wetland diversion is relatively rare. ④The main factor leading to the reduction of wetland landscape in Zhuhai City is the rapid economic development. The expansion of population and the development of fishery also threaten the wetland.

**Key words** wetland ecosystem, landscape pattern, driving factor, Zhuhai City (Page: 48)

**Surface Deformation Monitoring in Gejiu City Based on PS-InSAR Technique**

by MA Li

**Abstract** In this study, based on 23 Sentinel-1A satellite images of Gejiu City from March 22, 2018 to January 16, 2019, we used PS-InSAR

technique to process these images, and acquired the surface deformation characteristics in Gejiu City. The result shows that the mean surface deformation rate in this area is from -49.89 mm/a to 25.52 mm/a. The tin mining area is the area with serious subsidence. The geologic conditions of Gejiu City are relatively stable and the deformation quantity is small.

**Key words** surface deformation, Sentinel-1A, PS-InSAR, Gejiu City (Page: 54)

**Research on Inversion of Vegetation Coverage in Source Region of Yellow River Based on MODIS Data**

by LIU Jing

**Abstract** Taking the alpine grassland of the Yellow River source area as the research object, we used the UAV aerial photography technology to obtain the measured vegetation coverage of the sample, and combining with the MOD13A1 data from 2001 to 2018, extracted the common vegetation index. And then, we used the pixel dichotomy model method and regression model method to invert the vegetation coverage in the study area, and verified its accuracy. Finally, we used least squares method to analyze the change trend of vegetation coverage in source area since 2001. The results show that the modified soil regulatory vegetation index combined with the regression model has a higher accuracy. The average annual vegetation coverage of source area is 57.89%. The area proportions with vegetation coverage within 30%, 30% ~ 60% and above 60% are 13.1%, 27.25% and 49.65% of the source area, respectively. The vegetation coverage in source area shows a slight increase from 2001 to 2018.

**Key words** UAV aerial photography, the Yellow River source area, vegetation index, FVC, inversion, least square method (Page: 57)

**Fast Vectorization Method for Paper Map with Geographical Coordinate Recognition**

by YANG Yang

**Abstract** In the process of manual vectorization of raster image based on scanning of traditional paper map, it needs the coordinate conversion of vector data, which is time-consuming and labor-intensive, and the accuracy is often affected by subjective factors. In order to achieve fast and accurate vectorization, we put forward a fast vectorization method for paper map with geographical coordinate recognition in this paper. We used the scanning raster images and latitude and longitude template to perform SURF feature matching, and obtained the latitude and longitude identity information and the corresponding horizontal ordinate information at first. And then, we calculated affine transform model parameters, and realized the transformation from pixel coordinates to geographical coordinates in the vectorization process. Experimental results show that this method can not only realize the vectorization of raster image, but also accurately complete the coordinate transformation of vector data, which can improve the vectorization efficiency of paper map.

**Key words** SURF, feature match, vectorization, run length code (Page: 63)

**Control Measurement and Coordinate Transfer in Automatic Monitoring of Total Station**

by WANG Weicai

**Abstract** In the automatic monitoring methods of total station used in the rail transit operation line, the measurement station is often located in the deformation area, so the coordinates of the measurement station need to be calculated in real time. At this time, it is often necessary to judge whether the accuracy of the two coordinates is the same and whether it is necessary to adopt new coordinate values? Due to the narrow space and limited requirements in the tunnel, the objective conditions of control network layout are greatly limited. It is necessary to carry out experimental analysis of the applications of some control measurement methods in the tunnel. In this paper, we discussed the control network design, the coordinate transfer and inspection of total station automatic monitoring method in tunnel.

**Key words** automatic total station, control network, coordinate transfer, inspection, Helmert (Page: 66)

**Spatio-temporal Variations Analysis of Land Coverage Types and Urban Heat Island for Yangtze River Delta**

by XIONG Xiaofeng

**Abstract** Based on the land surface temperature (LST) and land coverage data of MODIS, taking the Yangtze River Delta (YRD) as study area, we studied the spatio-temporal variations of land cover and urban heat